

# Toimitusketjun kustannusten mallintaminen

Energiakäyttöön tarkoitettun karsitun ran-  
kapuun toimitusketjun mallintaminen met-  
säautotienvarresta käyttöpaikalle

Johanna Teivainen

Tutkimuksellinen kehittämishanke

Huhtikuu 2013

Ylempi logistiikan koulutusohjelma

Tekniikan ja liikenteen ala



JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULU  
JAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Tekijä(t) TEIVAINEN, Johanna	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 29.04.2013
	Sivumäärä 61	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty ( X )
Työn nimi Toimitusketjun kustannusten mallintaminen, Energiakäyttöön tarkoitettun karsitun rankapuun toimitusketjun mallintaminen metsäautotienvarresta käyttöpaikalle		
Koulutusohjelma Logistiikka		
Työn ohjaaja(t) LÄHDEVAARA, Hannu		
Toimeksiantaja(t) Vapo Oy, Leppänen Jari		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Energiapuun käytön huomattava lisääminen vaatii kustannustehokasta toimitusketjua, jotta toiminta on järkevää ja kannattavaa kaikille osapuolille. Useissa aiheita käsittelevässä tutkimuksissa on todettu, että tulevaisuudessa tullaan puupolttoaineita kuljettamaan enenemässä määrin terminaalien kautta. Useissa tutkimuksissa on myös todettu, että vaihtoehtoisia kuljetusmuotoja tulisi tarkastella puupolttoaineiden kustannustehokkaimpaan kuljettamiseen, koska raaka-aineen kuljetusmatkat Suomessa tulevat kasvamaan. Näissä tutkimuksissa ei ole kuitenkaan käsitelty minne, miten ja millaisen terminaalin yksittäisen toimijan on kannattavaa perustaa ja kuinka terminaalin käyttöönotto, erilaiset kuljetusmuodot ja matkat vaikuttavat kustannuksiin. Tutkimuksellisen kehittämishankkeen tavoite oli energiakäyttöön tarkoitettun rankapuun toimitusketjun kustannusten mallintaminen metsäautotienvarresta käyttöpaikalle yksittäisen toimijan käyttöä varten. Ohjelma tehtiin Excel-taulukkolaskelmaohjelmalla hyödyntäen työntilajan jatkuvassa käytössä olevia kustannuksia, tilaajan omia tutkimuksia eri kustannuskomponenteista sekä julkisia tutkimuksia aiheen eri osa-alueista.</p> <p>Ohjelmalla voidaan laskea karsitun rankapuun eri kuljetusmahdollisuuksia ja kuljetuskustannuksia sekä toimitusketjun kokonaiskustannuksiin suoraan vaikuttavia kustannuksia kuten haketusta metsätienvareilla tai terminaaleissa. Ohjelma antaa kustannuksiin vaikuttaville tekijöille oletusarvon lukuun ottamatta lähtötietoja. Käyttäjällä on itse mahdollisuus myös tarkentaa jokaista annettua oletusarvoa omalla arvolla ja näin tarkentaa ohjelman antamaa kustannusarviota. Ohjelmassa voidaan vertailla kolmea toimitusketjua yhtä aikaa ja jokaista toimitusketjun osan tietoja voi muuttaa toisista riippumatta. Toimitusketjun jokaista osatekijää ja niiden muutoksia voidaan vertailla erikseen toimitusketjuvaihtoehtojen kesken.</p> <p>Ohjelmaa voidaan hyödyntää käytännöntyön päätöksenteon apuna ja mietittäessä kuinka tulevaisuudessa voidaan vastata energiayhtiöiden puupolttoaineen raaka-aine ostoihin ja minne ja millaisia terminaaleja voisi rakentaa.</p>		
Avainsanat (asiasanat) karsittu rankapuu, toimitusketju, kustannukset		
Muut tiedot		



Author(s) TEIVAINEN, Johanna	Type of publication Master's Thesis	Date 29.04.2013
	Pages 61	Language Finnish
		Permission for web publication ( X )
Title Supply chain costs modeling, modeling supply chain costs of stem wood from the forest road to the site of use.		
Degree Programme Logistics		
Tutor(s) LÄHDEVAARA, Hannu		
Assigned by Vapo Oy, Leppänen Jari		
<p>Abstract</p> <p>A substantial increase in the use of fuel wood requires a cost-effective supply chain that is reasonable and profitable for all parties involved. A number of studies handling the topic have indicated that, in the future, increasing extent of wood fuels is going to be carried through terminals. Several studies have also shown that alternative forms of transport should be considered for cost-effectiveness as transport distances of raw material will increase in Finland. However these studies did not clarify where, how and what kind of terminal should be established by a single operator in order to be profitable. Furthermore, it remained unclear how the use of the terminal and the different modes of transport would affect the transportation costs.</p> <p>The aim of the research-development project was to make an application that models the costs of a supply chain of energy stem wood from the side of a forest road to the site of use. The application is intended to be used by a single operator. The application was made using the Excel spreadsheet calculation program utilizing the in-use costs of the client, the client's own studies on different cost components, as well as public researches on various parts of the topic.</p> <p>Different transport possibilities and transportation costs of cut stem wood and the costs directly affecting the total costs of the supply chain, such as chipping by the forest road or in the terminal, can be calculated by the application. The application provides a default value for all of the factors affecting the costs with the exception of the input data. The user has the option to modify each of the default values and thus, refine the cost estimate of the application. In the application, three supply chains can be compared at the same time and, each part of the supply chain data can be changed independently. Every component of the supply chain and its changes can be compared separately between the alternative supply chains.</p> <p>The application can be used to assist decision making in practice. It can also be utilized when considering how to respond to the need of fuel wood raw material by energy companies and where and what kind of terminals should be built in future.</p>		
Keywords cut stem wood, supply chain, costs		
Miscellaneous		

## Sisältö

<b>1. JOHDANTO .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1. Tutkimuksellisen kehittämishankkeen tavoite .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2. Tutkimuskysymykset.....</b>	<b>4</b>
<b>1.3. Aiheen rajaus .....</b>	<b>5</b>
<b>1.4. Teoriatausta .....</b>	<b>5</b>
1.4.1 Tutkimuksessa käytettävien keskeisten sanojen määritelmät .....	6
1.4.2 Haketus .....	7
1.4.3 Kuljetusmuodot .....	9
1.4.4 Kustannukset .....	11
<b>2. AINEISTO JA MENETELMÄT .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1 Aineisto ja tiedonhankintamenetelmät.....</b>	<b>13</b>
<b>2.2 Tutkimusmetodi.....</b>	<b>14</b>
<b>3. OHJELMAN KUVAUS .....</b>	<b>16</b>
<b>3.1 Ohjelma .....</b>	<b>16</b>
<b>3.2 Lähtötiedot .....</b>	<b>17</b>
<b>3.3 Kuljetukset .....</b>	<b>22</b>
3.3.1 Autokuljetukset .....	22
3.3.2 Junakuljetukset .....	23
3.3.3 Vesialuskuljetukset.....	26

<b>3.4</b>	<b>Haketuksen kustannukset.....</b>	<b>29</b>
3.4.1	Terminaalin ja terminaalihaketuksen kustannukset .....	29
3.4.2	Metsätienvarsihaketuksen kustannukset.....	33
<b>3.5</b>	<b>Lastin kuormauksen ja purkamisen kustannukset .....</b>	<b>34</b>
<b>4.</b>	<b>OLETUSTIEDOT JA LUOTETTAVUUS .....</b>	<b>36</b>
4.1	Lähtötietojen oletusarvot ja luotettavuus.....	36
4.2	Terminaalihaketuksen oletustietojen luotettavuus.....	37
4.3	Kuljetusten luotettavuus .....	47
4.4	Kuormaus ja purku .....	52
<b>5.</b>	<b>TUTKIMUKSELLISEN KEHITTÄMISHANKEEN TARKASTELU .....</b>	<b>55</b>
<b>6.</b>	<b>LÄHDELUETTELO.....</b>	<b>57</b>
<b>7.</b>	<b>LIITTEET .....</b>	<b>61</b>

## 1. JOHDANTO

Tilastokeskuksen (Energian hankinta ja kulutus 2012) ennakkotietojen mukaan Suomen energian kokonaiskulutus oli vuonna 2012 380 terawattituntia (TWh), josta puupolttoaineen osuus oli lähes 25%. EU:n ilmasto- ja energiapoliittisten linjausten mukaisesti Suomen velvoite on nostaa uusiutuvan energian osuus energian loppukulutuksesta 38 prosenttiin vuoteen 2020 mennessä (EU:n ilmasto ja energiapaketti, viitattu 25.3.2013). Velvoitteen täyttäminen edellyttää uusiutuvien energia lähteiden tuotannon ja käytön lisäämistä. Suomen hallituksen tekemässä pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia selonteossa vuodelta 2008 on arvioitu, että vuonna 2020 puupolttoaineiden primäärikäyttö Suomessa on 91 - 97 TWh. Puupolttoaineiden käyttöä voidaan nopeasti kasvattaa lisäämällä metsähakkeen käyttöä, koska teollisuuden sivutuotteita hyödynnetään nyt jo täysmääräisesti ja ne ovat aina riippuvaisia teollisuuden tuotantomäärästä (Metsäenergia, viitattu 18.8.2011 ja 26.4.2013). Metsähakkeen käyttötavoitteeksi Suomen hallitus on asettanut yhteensä 12 miljoonaa kiintokuutiometriä eli noin 24 TWh (Metsäteho 2009).

Vapo on merkittävä puupolttoaineiden toimittaja, jonka yksi puupolttoainetuote on metsähake. Metsähaketta saadaan harvennus- ja päätehakkuiden yhteydessä syntyvistä hakkuutähteistä, rangoista ja kannoista. Vapon toimittama metsähake haketetaan nykyisin joko varastointipaikassa teiden varsilla, isommilla varastoalueilla tai käyttöpaikalla. (Metsähaketta luotettavasti, viitattu 18.8.2011)

Hallituksen asettamien metsähakkeen käyttötavoitteen täyttämisen merkittäväksi haasteeksi on kuitenkin nousemassa metsähakkeen tuotantoketjun kustannukset suhteessa muihin polttoaineisiin. Kärhä ym. vuonna 2009 tehdyn tutkimuksen tulosten kuuden kohdan listassa yhdeksi kohdaksi nostettiin kaukokuljetusten tehokkuuden parantaminen. Tutkimuksen tuloksissa myös todettiin, että ilman mainittuja toimenpiteitä on vaikea tavoitella yli 15 - 20 TWh:n metsähakkeen tuotantomääriä. Vapon tavoitteena on omalta osalta olla vastaamassa edellä mainittuihin

haasteisiin. Yleisesti on tutkittu paljon puupolttoaineiden kuljetusten optimointia ja mallintamista, mutta useimmat niistä vastaavat valtakunnallisiin haasteisiin eivätkä huomioi yksittäisiä toimijoita ja sen mahdollisuuksia. Tämä tutkimuksellinen kehittämishanke etsi käytännönratkaisua yksittäisen toimijan näkökulmasta. Tutkimuksessa käytetyt juna- ja aluskuljetuksien oletusarvot ovat ikuisesti salaista tietoa.

### **1.1. Tutkimuksellisen kehittämishankkeen tavoite**

Tutkimuksellisen kehittämishankkeen, josta tästä eteenpäin viitataan sanalla tutkimus, tavoite on luoda sovellusohjelma, jonka avulla voidaan suunnitella karsitujen runkopuiden toimitusketjuja huomioiden kustannukset. Sovellusohjelma auttaa toimittajaa valitsemaan oikeat kuljetusmuodot ja -tavat vastaamaan käyttäjän valitsemia volyymeja ja kustannuksia energiapuuta toimittavan osapuolen näkökulmasta. Tutkimuksen tavoitteena luoda sovellusohjelma, joka antaa käyttäjälle vastauksia siihen missä haketerminaali voi sijaita erilaisissa tapauksissa ja mitä kuljetusmuotoja terminaalin kanssa olisi järkevä käyttää. Tutkimuksen tavoite on tehdä helppokäyttöinen sovellusohjelma käytännöntyön päätöksenteon avuksi.

### **1.2. Tutkimuskysymykset**

Tutkimuksessa käsitellään seuraavia energiapuun toimitusketjuun liittyviä kysymyksiä. Kuinka pitkän matkan päästä karsittua rankapuuta kannattaisi kuljettaa ja millä kuljetusvälineillä? Missä haketus kannattaisi tehdä? Minne mahdollinen terminaali tulisi sijoittaa? Onko terminaaliin mahdollista investoida kiinteät esimerkiksi vaa'at tai asfaltointi? Tutkimus ei suoraan vastaa edellä esitettyihin kysymyksiin, vaan kysymykset ovat ohjenuorana sovellusohjelman tekemistä varten.

### **1.3. Aiheen raja**

Tutkimuksessa käsitellään karsitun rangan eri kuljetusmahdollisuuksia ja kuljetuskustannuksia sekä toimitusketjun kokonaiskustannuksiin suoraan vaikuttavia kustannuksia kuten haketusta. Energiapuun logistisen ketjun osalta tutkimus rajoittuu ketjun alkupäässä hakkuun ja metsäkuljetuksen jälkeiseen vaiheeseen, jossa karsittu rankapuu on tienvarsivarastossa metsätien varressa. Tutkimuksessa ei tulla vertailemaan rankahakkeen sisältämän energian määrää muihin haketyyppeihin tai energiapitoisuuden kustannusvaikutuksia suhteessa kuljetuskustannuksiin. Tutkimuksessa ei käsitellä kysyntää ja sen vaikutuksia suoraan tuotteiden hintoihin tai toimittajan kannalta kannattavaan toimitusketjuun.

### **1.4. Teoriatausta**

Metsästä hankittavan energiapuun käytön huomattava lisääminen vaatii kustannustehokasta toimitusketjua, jotta toiminta on järkevää ja kannattavaa kaikille osapuolille. Useissa aikaisemmissa aihetta käsittelevissä tutkimuksissa on todettu, että tulevaisuudessa tullaan puupolttoaineita kuljettamaan enenemässä määrin terminaalien kautta. Useissa tutkimuksissa, muun muassa Iikkasen ym. vuonna 2011 tekemässä Liikenneviraston julkaisemassa energiapuuvirtojen valtakunnallinen optimointimallitutkimuksessa on myös todettu että vaihtoehtoisia kuljetusmuotoja tulisi tarkastella puupolttoaineiden kustannustehokkaampaan kuljettamiseen, koska metsäenergian raaka-aineen kuljetusmatkat Suomessa tulevat kasvamaan. Näissä tutkimuksissa ei ole kuitenkaan käsitelty minne, miten ja millaisen terminaalin yksittäisen toimijan on kannattavaa perustaa ja kuinka terminaalin käyttöönotto ja erilaiset kuljetusmuodot ja matkat vaikuttavat toimijan kustannuksiin.



#### 1.4.1 Tutkimuksessa käytettävien keskeisten sanojen määritelmät

**Hake:** Hake on tietynkokoisiksi palasiksi haketettu puubiomassa, joka on valmistettu mekaanisesti terävillä työkaluilla. Puuhakkeen palat ovat suorakaiteen muotoisia, tyypillinen pituus on 5–50 mm ja tiheys on pieni verrattuna muihin mittoihin. (CEN kiinteiden biopolttoaineiden terminologia (CEN/TS 14588:2003)).

**Käyttöpaikka:** Voima- ja lämpölaitos sekä pelletin tai muun vastaavan tuotantolaitos, joka ensisijaisesti käyttää sopimuksen soveltamisalaan kuuluvia tavaralajeja. Käyttöpaikka ei ole terminaali tai muu vastaava varastointialue.

**Ohjelma:** Ohjelma sanalla kuvataan tutkimuksen tavoitteena luotavaa kustannuksia laskevaa sovellusohjelmaa, joka tehtiin Excel-taulukkolaskentaohjelmalla. Ohjelma laskee käyttäjän antamien lähtötietojen ja ohjelman oletusarvojen avulla toimitusketjun kustannukset. Ohjelma toimii eräänlaisena optimointityökaluna kuitenkin antamatta suoraa optimaalisinta vaihtoehtoa, vaan ohjelman avulla käyttäjä voi vertailla miten eri muuttujat vaikuttavat kustannusarvioon.

**Oletusarvo:** Luotuun sovellusohjelmaan valmiiksi määritelty numeerinen arvo, joka pohjautuu tutkimuksessa käytettyyn aineistoon.

**Ranka:** Ranka on karsittu runko tai pölkkö, joka ei yleensä täytä ainespuulle asetettuja vaatimuksia. Termiä käytetään ensisijaisesti pienikokoisesta puusta. Ainespuu on mitoiltaan ja laadultaan puujalostusteollisuuden raaka-aineeksi soveltuva puutavara. (Paikallista puuta Vapolta, viitattu 18.8.2011, Metla 2011) Energian polttoon sopivaa rankaa kutsutaan hukkarunkopuuksi. Hukkarunkopuuta ovat muun muassa teollisuuden käyttöön kelpaamattomat puut. Tällaisia puita ovat puut, joiden läpimitta on pienempi kuin teollisuuden käyttöön määritelty minimiläpimitta tai alamittaiset puut, jotka eivät ole kasvatuskelpoisia eivätkä sellaisenaan täytä puutavaran mittavaatimuksia. Hukkarunkopuuta ovat myös puun rungon osat jotka ovat viallisia tai valmiit puutavarat, jotka jäävät esimerkiksi talven lumitilanteesta johtuen korjaamatta.

**Terminaali:** Iso varastointialue metsätievarren ja käyttöpaikan välissä, jonne kuljetetaan materiaalia usealta hakkuu alueelta. Materiaali voidaan varastoida joko haketettavana raaka-aineena tai valmiina hakkeena. Terminaalissa raaka-aine voidaan myös yleensä hakettaa tai murskata.

#### 1.4.2 Haketus

Rankapuuta haketetaan tienvarressa, käyttöpaikalla tai terminaalissa. Tienvarsihaketus on perinteisin tapa ja sitä käytetään yleisesti energiapuun hakettamisessa. Tienvarsihaketusta kutsutaan myös välivarastohaketukseksi. Tienvarsihaketuksessa rankapuu kuljetetaan metsästä tievarteen, jossa se haketetaan polttoaineeksi ennen kaukokuljetusta käyttöpaikalle. Haketettava puu voidaan kuivata joko metsässä palstalla tai tienvarressa varastossa. Ennen hakettamista puut yleensä varastoidaan yhden kesän yli. Puu haketetaan suoraan autoon tai konttiin (Pienpuun tuotanto 2011, Taipale haastattelu 2011). Tienvarsihaketuksen huono puoli on niin sanotun kuumen ketjun syntyminen. Kuumaketju tarkoittaa sitä, että hakkuri ja kuljetuskaluston käyttö ovat yhteydessä toisiinsa. Toinen työkoneista joutuu usein odottamaan toisen työsuoritusta ennen kuin voi aloittaa oman suorituksen. Tienvarsihaketus vaatii huolellisen suunnittelun, koska yhden osan toimintahäiriö vaikuttaa koko ketjun toimintaan. Hakkuri tai autot voi myös joutua odottamaan tyhjän panttina, mikäli kuljetusmatka ei vastaa haketusaikaa. Tienvarsihaketus vaatii myös huomattavan paljon tilaa, koska hakkuri ja kuorma-auto ovat joko peräkkäin tai rinnakkain. (Pienpuun tuotanto 2011, MetsäVerkko 2011, Taipale haastattelu 2011)

Käyttöpaikkahaketuksessa raaka-aine kuljetetaan rankapuuna käyttöpaikalle jossa se haketetaan. Käyttöpaikkahaketuksessa haketuksen ja kuljetuksen yhteiset käyttökustannukset ovat halvimmat verrattuna tienvarsi- tai terminaalihaketukseen. Käyttöpaikalla kuten myös terminaalissa käytetään kiinteää hakkuria tai murskainta, jonka etuna ovat alhaiset käyttökustannukset. Terminaaliin verrattuna jää käyttöpaikkahaketuksessa kuitenkin yksi lastaus ja purku pois. Käyttöpaikkahake-

tus ei kuitenkaan sovi kuin kaikista suurimmille laitoksille isojen investointikustannusten takia (Laitila ym. 2010 s.37). Asutuksen keskellä sijaitsevilla käyttöpaikoilla ei voida hakettaa puuta pöly ja meluhaittojen takia (Laitila ym. 2011 s.123). Käyttöpaikkahaketus ei myöskään sovi isossa mittakaavassa energiapuutoimittajalle, koska vaikka jonkun asiakkaan kanssa käyttöpaikkahaketuksesta voidaan sopimus tehdä, ei käyttöpaikkahaketusta voida välttämättä tehdä kaikkien asiakkaiden luona. Tällöin on hakettava puut metsäautotienvarressa tai terminaalissa.

Terminaalihaketuksessa raaka-aine kuljetetaan tienvarresta rankana terminaaliin jossa se haketetaan, ajetaan kasoihin ja peitetään. Hake lastataan autoon ja kuljetetaan käyttöpaikalle. Terminaalit sijaitsevat yleensä hyvien kulkuyhteyksien varrella. Terminaalihaketuksessa voidaan käyttää investointikustannuksiltaan kalliimpia, mutta tehokkaampia, haketuskapasiteetiltaan suurempia hakkureita tai murskaimia (Pienpuu tuotanto 2011). Terminaalihaketuksessa hakkuri ja kuljetuskalusto eivät ole kiinteästi yhteydessä toisiinsa. Terminaalihaketus siis mahdollistaa suuret vuosituotokset ja korkeat koneiden käyttöasteet ja alemmat hakkureiden käyttökustannukset (Karttunen ym 2010 s.83).

Terminaalin koosta riippuen voidaan terminaaliin valita joko järeä tehdashakkuri syöttölaitteineen tai pienempi liikuteltava varastohakkuri. Tehokasta tehdashakkuria voidaan käyttää suurilla terminaaleilla, koska hakkuria ei tarvitse siirtää työmaalta toiselle. Pienemmillä terminaaleilla pärjätään hyvin liikuteltavan hakkurin kanssa, koska haketuksessa ei tarvita välttämättä suurta hetkellistä tehoa kuumen ketjun puuttumisen vuoksi. Terminaalihaketusketjussa pystytään välttämään tienvarsihaketuksen suurin ongelma eli turhat odotteluajat, koska hakkuri voi hakettaa suoraa maahan tai siiloon. Terminaalihaketuksessa hake on myös puhtaampaa ja laadunvalvonta paranee. Terminaalissa vaihtoehtona on myös raaka-aineen varastointi hakkeen sijaan, jolloin voidaan vähentää hakkeen varastoinnin haittoja, kuten kuumenemista, kuiva-aine tappioita sekä terveyshaittoja. Terminaalihaketuksessa voidaan myös taata toimitusvarmuus kaikissa olosuhteissa pitämällä yllä riittävän suurta puskurivarastoa. (Pienpuu tuotanto 2011, Heikkilä ym. 2005 s.35)

Terminaalien käyttöä pitkillä kuljetusetäisyyksillä myös puoltaa se että metsähakkeen kuljetuskustannukset nousevat nopeasti pitkillä kuljetusetäisyyksillä, koska metsähake on tiheydeltään alhaista verrattuna hakkeen raaka-aineena kuljettavaan rankapuuhun (Metla 2010).

Terminaalista voidaan haketta myös toimittaa useille eri laitoksille ja junakuljetuksiin. Terminaalien käyttö lisää myös mahdollisuuksia hyödyntää rautatietä hakkeen kuljetuksessa käyttöpaikoille. Terminaali parantaa myös toimitusvarmuutta esimerkiksi kelirikkojen tai energiakulutushuippujen aikana (Laitila ym. 2011 s. 108). Terminalissa hakkeen laatua on helpompi kontrolloida ja märkää sekä kuivaa haketta voidaan sekoittaa laadun tasaamiseksi (Laitila 2010 s.37). Terminaalihaketus voi myös mahdollistaa useiden pienten erien keräilyn. Näillä työmailla ei tienvarsihaketus välttämättä kannata, koska iso osa ajasta kuluu työkoneiden työmaiden välisiin siirtoihin. Terminaalihaketus voi mahdollistaa myös niiden työmaiden käytön joissa tilanpuute rajoittaa täysperävaunuyhdistelmän käyttöä. (Laitila ym. 2011 s.108). Vapolla terminaalit sijaitsevat usein turvesoiden yhteydessä.

Terminaalitoiminta pidentää kuljetusmatkoja metsätienvarresta käyttöpaikalle ja lisää ylimääräisiä työvaiheita kuten kuormausta ja purkua, tämän vuoksi terminaalihaketettun hakkeen tuotantokustannukset ovat olleet useiden tutkimusten mukaan korkeammat kuin tienvarsihakettun hakkeen. (Laitila ym. 2011 s.123). Näissä tutkimuksissa on laskettu kuljetus- ja haketuskustannuksia sekä huomioitu terminaalin investointikustannukset. Tutkimuksissa ei kuitenkaan ole käsitelty monia tienvarsihaketukseen liittyviä välillisiä kustannuksia kuten lumityöt tai tievarsihaketuksen pienet eräkoot, jotka voivat huomioituna muuttaa haketuksen terminaalihaketusta suosivaksi.

#### 1.4.3 Kuljetusmuodot

Hakerekka voi kuljettaa 115 - 135 i-m<sup>3</sup> (irtokuutiota) haketta. Auton kokonaispaino ei Suomen teillä saa tällä hetkellä ylittää 60 t, josta hakerekan omapaino vie 22

- 26 t. Hakkeen ollessa tuoretta kapasiteetti tulee painon puolesta vastaan jo noin 100 i-m<sup>3</sup> kohdalla. Kuivan hakkeen kohdalla tilavuus olisi mahdollista hyödyntää täysin. Käytännössä haketta ei kuitenkaan saada lastattua ja tiivistettyä niin että kuormatila tulisi täysin hyödynnettyä. (Ranta 2010 s.6-9)

Terminaaleihin on tehokasta ajaa rankapuu puutavara-autoilla (Laitila ym 2011 s.122). Puutavara-auton omapaino perävaunuineen on noin 18 tonnia, mikäli autossa kulkee oma nosturi mukana lisää se painoa vielä 2 tonnia. Auton kantavuus on siis noin 40 - 42 tonnia. Karsitulla rangalla kokonaispaino hyödynnetään jo vajalla kuormalla. (Korpilahti 1997 s.15)

Juna kuljettaa 140 kuutiota vaunussa. Yksi juna vastaa 15 - 20 rekkaa. Junavaunuun haketta menee 40 - 50 tonnia, mutta vaunun kantavuus on noin 60 tonnia. Sopivaksi junan pituudeksi on määriteltä 10 - 20 vaunua (Ranta 2010 s.10). Junakuljetukset tarvitsevat kuitenkin aina autokuljetuksia rinnalleen ja näin ollen aina ainakin yhden kuormauksen ja purkamisen lisää. Terminaalihaketuksessa junaa voidaan käyttää auton korvaajana käyttöpaikalle, mikäli terminaaliin ja käyttöpaikalle on olemassa omat pistoraiteet.

Haketta voidaan kuljettaa myös konteissa. Kontteja on mahdollista kuljettaa sekä autolla että junalla. Yhteen junavaunuun mahtuu 3 konttia. Konttikuljetukset mahdollistavat kuljetusmuotojen nopean yhdistelyn. Kontteja pitää kuitenkin olla riittävästi, jotta konttien kierto on mahdollista. (Ranta 2010 s.10-12)

Vesialus kuljettaa 3000 - 5000 kuutiota eli noin 1200 tonnia, mikä vastaa 25 - 40 rekkaa. Ruumassa haketta menee 2650 kuutiota ja laajennetuin laidoin varustetulla kannella yhteensä 4000 - 5500 kuutiota. Vesialuksella hakkeen kuljetuskapasiteetti tulee vastaan vain tilavuuden suhteen. Vesialus pystyi kuljettamaan jopa Saimaan syvyyden mahdollistamat 2500 tonnia, lastin tiivistäminen tonnien lisäämiseksi on kuitenkin ongelma. (Ranta 2010 s.13-17)

Energiapuuvirtojen valtakunnallisen optimointiohjelman mukaan kaikkien tiekuljetusten keskimääräinen kuljetusmatka on noin 39 kilometriä ja

rautatiekuljetusten noin 133 km (Iikkanen ym. 2011 s. 20). Parhaimman kuljetusmuodon valinta on kuitenkin riippuvainen sekä kuljetusmatkasta että haketustavasta.

#### 1.4.4 Kustannukset

Puunpolton käytön lisäämiseksi ja toimittajan kannattavuuden kasvattamiseksi on tärkeää löytää kustannustehokkain toimitustapa. Toimitusketjun kokonaiskustannuksiin vaikuttavat investointikustannukset, kaluston käyttökustannukset, odotusajat, koneiden siirtoajat, hävikit, eräkoot, polttoaineiden hinnat, työajat, organisaation kustannukset sekä itse tuote.

Työkoneiden kuten haketuslaitteiden sekä kuljetuskaluston muuttuvista kustannuksista polttoaineet kattavat yli 80 %. Polttoaineiden hintojen muutoksilla on suuri vaikutus laitteiden käyttökustannuksiin. Muutoksia käyttökustannuksiin aiheuttavat myös muutokset palkoissa ja korkokustannuksissa. Laitteiden investointikulut, pitoaika sekä vuotuinen käyttöaika ja toiminnallinen käyttöaste vaikuttavat työkoneiden kustannuksiin. Kuljetuskaluston kustannuksiin vaikuttaa myös meno-paluu kuljetusten mahdollisuudet. (Ihalainen ym. 2010 s.9)

Leimikoiden koko vaikuttaa myös toimitusketjun kustannuksiin. Mikäli useisiin välivarastoihin kertyy pieniä reilusti alle yhden kuorman jättöjä lisää se toimitusketjun kustannuksia, riippumatta siitä keräilläänkö jätöt tai kirjataanko ne suoraan alas kustannuksiin. Työkoneiden siirrot työmaalta toiselle vaikuttavat kustannuksiin, varsinkin jos hakkuualueet ovat pieniä. Kustannuksiin lisäävästi vaikuttavat myös arkipäivästä poikkeavat työajat kuten sunnuntai- ja yötyöt. (Ala-Fossi, haastattelu 2011)

Maantiekuljetukset ovat tällä hetkellä yleisin kaukokuljetusmuoto puuenergian kuljetuksissa Suomessa. Kuljetusmuotojen valintaan vaikuttaa monet olosuhdekijät, mutta yksi tärkeä tekijä kuljetusmuotojen valinnassa on kuljetuskustannus

per kuljetettava yksikkö, kuten kuutiometri, tonni tai megawattitunti (Merenkululaitos 2009).

Metsähakkeen tilavuuspaino on alhainen ja mitä kuivempaa hake on sitä alhaisempi tilavuuspaino on. 60 % kosteudessa tilavuuspaino on vajaat 400kg/i-m<sup>3</sup>, mutta 30% kosteudessa vain 260 kg/i-m<sup>3</sup>. Autokuorman kosteuspitoisuuden noustessa hyötykuorma ja energiatiheys alenee eli tuotteesta saadaan vähemmän rahaa. Hakkeen kuljetuskustannukset nousevat kosteuden noustessa, koska laitoksille on ajettava useampi kuorma saman energiamäärän saavuttamiseksi. (Ranta 2010 s.3, Ihalainen 2010 s. 34)

Terminaalin investointikustannukset vaikuttavat suuresti terminaalivaihtoehdon kustannuksiin. Haketuksen muuttuminen metsäautotien tai käyttöpaikan sijasta terminaaliin muuttaa tuotteen toimitusketjun kustannusrakennetta.

Terminaalitoiminta pienentää haketuskustannuksia, mutta lisää kuljetusmatkoja ja työvaiheita. Käytännössä metsähakkeen hankinnan optimointi tarkoittaaakin kuljetuskustannusten optimointia. (Laitila 2011 s.123)

## 2. AINEISTO JA MENETELMÄT

### 2.1 Aineisto ja tiedonhankintamenetelmät

Aineistoa kerättiin sekä sovellusohjelman oletusarvoja että tutkimusraportin teoriaosuutta varten useasta eri lähteestä. Yhtenä aineistolähteenä sovellusohjelmaa varten oli Vapolla olemassa olevat erilaiset seuranta-aineistot. Vapolla on kerättyä tietoa erilaisista kustannuksista, volyymeistä ja matkanpituuden vaikutuksista kustannuksiin. Osa sovellusohjelmassa ja raportissa käytettävästä aineistosta koottiin myös haastattelemalla Vapon puupolttoaineen ja kuljetuksen asiantuntijoita; logistiikkajohtaja Jari Leppästä, kuljetuspäällikkö Kari Taipaletta ja kehityspäällikkö Antti Ala-Fossia. Osa sovellusohjelman aineistosta saatiin Vapon ja yhteistyökumppaneiden meneillään olevista logistiikkahankkeista, joihin on tehty selvityksiä erilaisista kuljetusmuodoista ja niiden kustannuksista. Sovellusohjelmassa käytettiin aineistona myös Suomessa käytössä olevia myyntihintoja, kuten polttoainehintoja. Tietoperustan ja sovellusohjelmassa käytettävän aineiston lähteenä käytettiin jo julkaistuja Suomen eri yliopistoissa tehtyjä tutkimusraportteja ja niiden tuloksia, kuten Laitilan ja Väätäisen *Kokopuun ja rangan autokuljetus ja haketuottavuus* tutkimusta vuodelta 2011. Aineistona käytetään liikenneviraston energiapuuvirtojen ja raakapuuvirtojen valtakunnallisia optimointiohjelmaraportteja. Aineistona käytettiin myös Metsäntutkimuslaitoksen ja Merenkulkulaitoksen työ- ja tutkimusraportteja energiapuun ja puupolttoaineiden kuljetuksista, optimoinneista, ajankäytöstä ja kustannustekijöistä. Tutkimuksessa esimerkiksi eri toimivaiheisiin kuluneet ajat, kuten kuormanpurkuun kulunut aika, pohjattiin muiden tutkimusten tuloksiin sekä Vapolla kerättyyn seuranta-aineistotietoon eikä itse tehtyihin empiirisiin kokeisiin metsätienvarrella tai terminaalissa.

Sovellusohjelma, josta tässä tutkimuksessa käytetään sanaa ohjelma, luotiin *Excel* taulukkolaskentaohjelmalla. Ohjelman tekeminen on vaatinut myös perehtymistä



Excel taulukkolaskentaohjelman toimintaan erityisesti kaavojen rakentamisen sekä käyttäjälle tehtävien valintalaatikoiden toteuttamisen kannalta.

## 2.2 Tutkimusmetodi

Tutkimusmetodina on teoreettisentutkimuksen, toimintatutkimuksen, tapaustutkimuksen ja systeemistrategian mukaisen systeemianalyysin yhdistelmä. Tutkimus on osittain toimintatutkimusta, koska toimintatutkimus on menetelmä, jonka avulla tutkitaan todellisia tapahtumia keräten täsmällistä tietoa tiettyä tarkoitusta tai tilannetta varten voidakseen parantaa ja kehittää kohteen toimintaa ja ympäristöä. Toimintatutkimuksen yhtenä tarkoituksena on ratkaista ongelmia, joilla on suora yhteys johonkin käytännölliseen toimintaan. Toimintatutkimus ei ole kiinnostunut siitä miten asiat ovat vaan siitä miten niiden tulisi olla. Työ ei kuitenkaan ole täysin toimintatutkimusta, koska toimintatutkimus on myös tapa tutkia jotakin ajatusta käytännössä. Tässä tutkimuksessa ei kuitenkaan tehdä käytännön koetta oletusarvojen etsimiseksi eikä työn tarkoituksena ole toteuttaa sekä toimintaa että tutkimusta samanaikaisesti, kuten toimintatutkimuksen tarkoituksena on. (Anttila 2007)

Tämä tutkimus on myös osittain tapaustutkimusta, koska tapaustutkimuksessa paneudutaan yhteen tai muutamiin tapauksiin rajatussa tietyssä ympäristössä paremmin, kun että otettaisiin suuri aineisto tutkittavaksi. Tapaustutkimusanalyysi ei itsessään pyri yleispätevyyteen, mutta sitä voidaan yrittää soveltaa myös muihin samanlaisiin kohteisiin vertaamalla tutkimuksen tapauksen tuloksia ja lainalaisuuksia. (Tapaustutkimus, viitattu 18.8.2011)

Tämä tutkimus on osittain myös systeemistrategian mukainen systeemianalyysi. Systeemistrategian mukaisessa systeemianalyysissä rakennetaan malleja, joita tarkastellaan ja tutkitaan osana todellisuudesta. Tässä tutkimuksessa on myös tarkoitus tehdä todellisuuden pohjalta ohjelma joka voidaan siirtää suoraa käytäntöön. Systeemianalyysissä tarkoituksena on luoda ohjelma, joka tuo esiin systeemin olennaiset ominaisuudet. Parhaimmillaan luotu ohjelma on niin systeemin kalta-

nen, että siitä tehdyt päätelmät pätevät myös itse systeemissä, vaikkakin ohjelma sisältäisi vähemmän elementtejä ja yhteyksiä kuin mallinnuksen kohteena oleva systeemi. (Systeemianalyysi 2007)

Tutkimus on myös osittain teoreettista tutkimusta, koska oletusarvoja pohjataan paljon jo valmiiksi tehtyihin tutkimuksiin. Toisaalta tutkimus ei ole täysin teoreettista tutkimusta, koska tässä tutkimuksessa luodaan uusi sovellusohjelma ja kaikki oletusarvot eivät perustu aiempaan tutkimuskirjallisuuteen. Teoreettisessa tutkimuksessa kohde pyritään hahmottamaan mallien, selitysten ja rakenteiden avulla käyttäen perusteena aiempaa tutkimuskirjallisuutta. (Teoreettinen tutkimus, viitattu 26.4.2013)

## 3. OHJELMAN KUVAUS

### 3.1 Ohjelma

Kustannuslaskentasovellusohjelma tehtiin Microsoft Excel taulukkolaskentaohjelmalla. Ohjelma toimii eräänlaisena optimointityökaluna kuitenkin antamatta suoraa optimaalisinta vaihtoehtoa, vaan ohjelma näyttää miten eri muuttujat vaikuttavat kustannusarvioon. Ohjelmaan ei rakennettu optimointialgoritmia. Ohjelma sisältää 14 välilehteä. Ohjelmassa käytettiin Excelissä valmiina olevia lomakkeenohjausobjektiveja, joiden taustalle tehtiin valintaluettelot. Jokainen luettelo-vaihtoehto lisättiin valintakaavoihin joihin yhdistettiin kustannustenlaskentakaavat. Ohjelma laskee rinnakkain eri vaihtoehtojen kokonaiskustannukset, että samalla kertaa voidaan laskea kustannukset kolmelle käyttöpaikalle.

Kustannukset muuttuvat parametreja muuttamalla. Käyttäjä antaa keskeisimmät toimitusketjuun liittyvät parametrien arvot, kuten volyymi, kuljetusmuodot ja kuljetusmatkojen pituudet etsiessään vastauksia mikä toimitusketju olisi hänen tapauksessaan paras ratkaisu. Nämä arvot annetaan lähtötietovälilehdellä. Lisäksi käyttäjä antaa terminaalihaketusvälilehdellä muutaman keskeisen arvon, joita käytetään terminaalin kokoa määriteltäessä. Ohjelmassa annettiin valmiiksi kaikki muut tarvittavat oletusarvot kustannusten laskemiseksi. Ohjelmassa käyttäjälle on tehty mahdollisuus muokata tarpeen mukaan kaikkia näitä kustannuksia määritteleviä oletusarvoja erillisillä välilehdillä. Käyttäjä voi, mikäli hänellä on toimitusketjustaan tarkempaa tietoa, muuttaa oletusarvoja, jotta ohjelman tulokset antavat tarkemman arvion juuri käyttäjän toimitusketjua vastaavaa ympäristöä tarkasteltaessa. Esimerkiksi että kyseisessä toimitusketjussa on käytössä terminaalihakkuri, jonka tehotuntuottavuus on 300 kuutiota tunnissa, eikä 200 kuten oletusarvoksi on määritelty.

Ohjelma ei anna täysin valmiita vastauksia terminaalin kokoon eikä oletustietoihin lukeudu esimerkiksi terminaalin maksimaalinen kapasiteetti, läpimenoaika tai käyttöaste vaan näihin on jokaisen käyttäjän itse paneuduttava etsiessään optimaalista terminaalin kokoa toimitusketjun tarpeita varten. Ohjelmaan ei haluttu määrittellä oletusarvoa terminaalin koolle, jotta ohjelma mukautuisi helposti monen erilaisen toimitusketjun tarpeeseen ja toimisi samalla työkaluna terminaalin koon optimointia varten. Ohjelma ohjaa käyttäjää muuttujien arvojen valinnassa esittämällä raja-arvot, mikäli käyttäjä yrittää esimerkiksi laittaa kapasiteetille mahdottoman läpimenoajan. Käyttäjä voi ohjelmassa käyttää toimitusketjun kustannusten arvioinnin perustana jotain olemassa olevaa terminaalialue tai vertailla jotain jo olemassa olevaa terminaalialue ja sen haketusta. Tällöin käyttäjä syöttää ohjelmaan kyseisen terminaalialue kapasiteetin ja läpimenoajan.

Ohjelmaan tehtiin käyttäjälle myös saatujen kustannusten kustannusjakauma tarkastelu sekä lukuina että prosentteina kokonaiskustannuksista. Näistä molemmista tehtiin myös grafiikat helpottamaan osien vaikutusten hahmottamista. Ohjelmassa käytettävät kustannustaulukot rakennettiin niin, että niiden päivittäminen normaalissa työkäytössä on ohjelman ylläpitäjälle mahdollisimman helppoa.

### 3.2 Lähtötiedot

Ohjelman lähtötietovälilehdellä annetaan toimitusketjun lähtötiedot. Samalle välilehdelle ohjelma antaa myös saadut kustannukset. Välilehdellä voidaan vertailla samanaikaisesti kolmen erilaisen toimitusketjun kustannuksia. Toimitusketjusta käyttäjä määrittelee varastojen keskikoon irtokuutioina, varastojen lukumäärän ja varastojen välisten siirtymien keskipituuden kilometreissä. Informaationa ohjelma näyttää kuinka paljon haketta irtokuutiona yhteensä. Käyttäjä aloittaa ohjelman käyttämisen määrittelemällä kuvan yksi (1.) tiedot. Näihin tietoihin ei ohjelma anna oletusarvoja. Samanlaiset tiedot käyttäjä määrittelee erikseen toimitusketju 2 ja toimitusketju 3 tietoihin, mikäli haluaa vertailla kahta tai kolmea toimitusketjua samanaikaisesti.

Toimitusketju 1	
Varaston keskikoko	0 i-m3
Varastojen määrä	0 kpl
Siirtymän keskipituus	0 km
Haketta yhteensä	0 i-m3

Kuva 1. Ensimmäisen toimitusketjun toimitettavan raaka-aineen määrittely

Kuvan kaksi (2.) mukaisesti käyttäjä valitsee missä vaiheessa toimitusketjua mahdollinen haketus suoritetaan. Jos käyttäjä ei määrittele vaihtoehtoa, ohjelma käyttää haketusvaihtoehtona aina vaihtoehtoa, joka näkyy laatikossa valittuna. Vaihtoehtoina ovat hakuvarastolla eli metsätienvarrella, ensimmäisessä terminaalissa, joka sijaitsee ensimmäisen ja toisen kuljetusmatkan välissä, toisessa terminaalissa joka sijaitsee toisen ja kolmannen kuljetuksen välissä, tai kolmannessa terminaalissa joka sijaitsee viimeiseen mahdollisiin kuljetus matkan jälkeen asiakkaan luona. Vaihtoehtona on myös raaka-aine kuljetus, jolloin haketusta ei tehdä toimitusketjussa lainkaan. Mikäli käyttäjä vertailee useampaa ketjua rinnakkain, hän määrittelee haketukset erikseen muihin toimitusketjuihin. Kaikissa toimitusketjuissa on samat vaihtoehdot tarjolla. Hän voi valita niihin saman tai eri haketusvaihtoehdon.



Kuva 2. Haketuksen valinta.

Kuljetustietoja käyttäjä lisää lähtötieto sivulla haketustietojen jälkeen, kuvassa kolme (3.). Kuljetuksista käyttäjä valitsee kilometrit erikseen kullekin kuljetusmatkalle, jonka välissä lastia siirretään tai käsitellään. Kilometrit ovat aina nolla kilometriä, ellei käyttäjä itse muuta niitä. Vain kilometrit lisäämällä ohjelma laskee kullekin kuljetustavalle kustannukset, muuten tuloksena on aina nolla euroa.

Käyttäjä myös valitsee kuljetusmuodot näille matkoille. Vaihtoehtoina ovat auto, juna ja vesialus. Jos käyttäjä ei itse määrittele kuljetusvaihtoehtoja, käyttää ohjelma vaihtoehtoa joka näkyy laatikossa. Mikäli tarvetta on vain yhdelle kuljetusmatkalle, täytetään taulukossa vain ensimmäisen kuljetuksen tiedot. Käyttäjä myös antaa tarvittavat kuljetustiedot eli millä alueella kuljetus tapahtuu, vaihtoehtoina ovat Lappi, Pohjois-Pohjanmaa, Haapavesi, Keski-Pohjanmaa, Etelä-Pohjanmaa, Keski-Suomi, Savo-Kainuu, Pohjois-Karjala, Etelä-Savo, Lounais-Suomi sekä Kaakko. Mikäli kuljetuksia tapahtuu useammalla alueella tai aluetta ei tiedä tarkasti voi valita myös koko Suomen, jolloin taulukko antaa keskiarvo hinnan. Myös nämä tiedot määritellään erikseen muille toimitusketjuille, mikäli niitä halutaan vertailla rinnakkain.

Kuva 3. Kuljetustietojen lisääminen.

Lähtötiedoissa käyttäjä näkee myös haketustermiinaaliin valitut tiedot kuvan neljä (4.) mukaisesti. Valinnat termiinaalin tuotannon, läpimenoajan ja varustelun suhteen tehdään erikseen termiinaalia ja haketusta käsittelevällä välilehdellä. Nämä informaatiotiedot näkyvät jokaiselle toimitusketjulle erikseen, niille valittujen termiinaalitietojen mukaisesti. Näitä tietoja ohjelma käyttää ja näyttää vain, mikäli haketukseen on valittu termiinaalihaketus yksi, termiinaalihaketus kaksi tai termiinaalihaketus kolme.

Terminaalitieto INFO:		
Vuosituotanto	0 i-m3/a	Vaaka: Ei
Läpimenoaika	0 d	Asfaltti: Ei
Käyttöaste	0 %	Meluvalli: Ei
Rautatie valmiina		Pohjavesialue: Ei

Kuva 4. Terminaalitietojen informaation

Lähtötiedoissa, kuva viisi (5.), käyttäjä voi antaa halutessaan toimitusketjun kokonaiskustannuksiin vaikuttavat kantohinnan, hakkuun ja metsäkuljetuksen hinnan, yleiskustannukset, jotka allokoidaan liiketoiminnan päälle sekä valtiolta mahdollisesti saatavien tukien suuruuden. Näitä kustannuksia ei ohjelma laske, koska kantohinta, hakkuu ja metsäkuljetuksen hinta muodostuvat ennen metsävarsitietä, johon ohjelman kuljetusketjun vertailu on rajattu. Myös tuet ja allokoitavat yleiskustannukset kuuluvat tämän rajauksen ulkopuolelle. Nämä on silti lisätty lähtötietoihin, jotta käyttäjä voi vertailla eri kuljetustapahtumien todellisia vaikutuksia kokonaiskustannuksiin. Myös nämä tiedot lisätään ensimmäiselle toimitusketjulle, josta ne kopioituvat automaattisesti myös muihin toimitusketjuihin. Käyttäjä voi silti halutessaan myös muuttaa muiden toimitusketjujen tietoja itse.

Kantohinta €/k-m3	0 €
Hakkuu + metsäk. €/k-m3	0 €
Yleiskustannus €/ k-m3	0 €
tuot €/ k-m3	0 €

Kuva 5. Kokonaiskustannuksiin vaikuttavat hinnat.

Kuvan kuusi (6.) mukaisesti käyttäjä voi lähtötietosivulla halutessaan antaa omat muuntokertoimet irtokuutiosta kiintokuutioksi, megawateista irtokuutioksi ja tonneista irtokuutioksi. Käyttäjä voi asettaa myös oman laskennallisen pääomakustannusten koron, joka huomioidaan, mikäli tuote haketetaan terminaalissa ja se odottaa aumassa kuljettamista. Näille muuntokertoimille on annettu taulukossa oletusarvot, joita käytetään kaikilla välilehdillä. Lähtötietovälilehdellä käyttäjän arvoja muuttaessa, ne tulevat käyttöön jokaisella tarvittavalla välilehdelle. Käyttä-

jä voi myös erikseen jokaisella välilehdelle muuttaa vain kyseisen välilehden arvoja. Tämänkaltaisen tilanne saattaisi tulla kyseeseen kun vertaillaan kahden eri alueen terminaalien haketusta keskenään.

Kertoimet	Oma arvio		
		2,32 hake-im3	= 1 kiinto-m3
		0,8 Mwh	= 1 hake-im3
		0,35 t	= 1 hake-im3
pääomakustannuksen korko		10 %	

Kuva 6. Kertoimien määrittely.

Lähtötietosivulle on kerätty näkyviin myös ohjelman tulokset kuvan 7 ja 8 mukaisesti. Taulukko laskee erikseen kuljetuksen kustannukset jokaiselle matkalle, samoin kuormauksen ja mahdollisen rangan purkamisen pyörökuormaimella erikseen jokaisella lastaus paikalla, haketuksen, yleiskustannukset, tuet, terminaalkustannukset, kantohinnan, hakkuun ja metsäkuljetuksen hinnan sekä mahdolliset pääomakustannusten korot. Käyttäjä voi valita missä yksikössä kustannukset haluaa. Vaihtoehtoina ovat euroa per irtokuutio ( $\text{€} / \text{i-m}^3$ ), euroa per megawattitunti ( $\text{€} / \text{Mwh}$ ) tai euroa per tonni ( $\text{€} / \text{t}$ ). Lisäksi taulukosta näkee koko toimitusketjun koon irtokuutioina, tonneina ja megawatteina, kokonaiskustannukset kyseiselle erälle. Lisäksi tuloksiin on tuotu erikseen näkyviin kuiva-aine tappio terminaalissa ja lopulliseen hintaan on tämä tappio vielä lisätty.

yksikkö	Eur/i-m3	väli1	väli2	väli3	Yhteensä
Kuljetus	€/im3	0,0	0,0	0,0	0,0 €
Kuormaus pyörökuori	€/im3	0,0	0,0	0,0	0,0 €
Haketus	€/im3				0,0 €
Yleiskustannus	€/im3				0,0 €
tuot	€/im3				0,0 €
terminaalinkustannus	€/im3				3,3 €
Kantohinta	€/im3				0,0 €
Hakkuu + metsäk.	€/im3				0,0 €
Pääomakustannukset	€/im3				2,1 €
YHTEENSÄ	€/im3				5,4 €

Kuva 7. Kustannukset eriteltynä.



Toimitusketju 1	0 i-m3	
	0 t	
	0 MWh	0 €
Kuiva-aine tappio terminaalissa		0,0 €
<b>Kokonaiskustannus</b>		<b>0 €</b>

Kuva 8. Kokonaiskustannukset.

### 3.3 Kuljetukset

#### 3.3.1 Autokuljetukset

Kustannusohjelmassa käytettävien autokuljetushintojen pohjaksi otettiin Vapolla käytössä olevat kuljetuskustannusennusteet. Ennusteessa olevassa hinnastossa kuljetushinnat on laskettu kuljetettavaa tonnia kohden kuljetettavalle matkalle. Ennusteessa arvioidaan rahtihintoja tulevalle vuodelle. Hinnasto on alueellinen huomioiden erilaisten alueiden erityispiirteet kuljetuksissa esimerkiksi tien mäki-syyden ja mutkaisuuden. Hinnastossa on yksitoista asiakasaluetta sekä koko Suomen kattava keskihinta. Hinnastossa on myös käytössä polttoaineklausuuli ja sitä voidaan muuttaa polttoaineen hinnan muuttuessa. Käytössä oleva hintaennuste sopi sellaisenaan kuljetuksiin, joissa haketta kuljetetaan terminaalista käyttöpai-kalle. Kuljetukset raaka-aineena sekä metsätienvarresta suoraan hakkeena käyttö-paikalle vaativat omat kustannustaulukkonsa. Näihin kuljetuksiin ei vielä ole ole-massa hintaennusteita, mutta sellaiset ovat tulossa tulevaisuudessa. Ohjelmaan lai-tettiin olemassa olevan hinnaston pohjalta muutetut kustannustaulukot, jotka voi-daan ohjelmaan vaihtaa kun uudet hintaennusteet saadaan käyttöön. Taulukossa hinnat ovat viidestä kymmeneen kilometriin kilometrin välein, kymmenestä vii-teenkymmeneen kilometriin kahden kilometrin välein ja viidestäkymmenestä ki-lometristä aina kolmeensataaneljäänkymmeneenviiteen kilometriin viiden kilo-metrin välein. Käyttäjän ei tarvitse muuttaa itse autokuljetusten kustannuksia oh-jelmassa millään lailla.

### 3.3.2 Junakuljetukset

Junan kustannukset ohjelmaan laskettiin investointikustannusten ja käyttötietojen kautta. Pohjatietoja ohjelmaan saatiin Vapolla eri yhteistyökumppaneiden kanssa tehdyistä tutkimuksista. Yhteistyökumppanien nimiä ei tässä työssä kerrota liikesalaisuuden takia. Hinnat laskettiin kuljetettavaa tonnia kohden kuljetettavalle matkalle. Matkataulukkona käytettiin autokuljetuksissa olevaa matkajakoa. Viiteenkymmeneen kilometriin hinnat on ilmoitettu kahden kilometrin välein ja siitä ylöspäin viiden kilometrin välein. Kustannukset voidaan ohjelmaan muuttaa myös kilometrin välein, mutta koska kyseessä on nimellinen kustannus, on viiden kilometrin välinen arvio on riittävän tarkka. Käyttäjän ei tarvitse määritellä mitään tietoja junakuljetuksista ottaakseen ne ohjelmassa käyttöön. Ainoastaan hänen tulee valita lähtötiedot välilehdellä kuljetusmuodoksi juna ja valita ajettavat kilometrit, kaikilla tiedoilla juna välilehdellä on oletusarvot. Käyttäjä pääsee kuitenkin halutessaan muuttamaan kaikkia välilehden oletusarvoja.

Junan investointikustannuksiin laskettiin veturin, vaunujen ja konttien hinnat ja määrä sekä kehityskulut. Ohjelmassa voidaan muuttaa kaikkia investointikuluja sekä kehityskuluja. Ohjelmassa voidaan myös muuttaa sekä vaunujen että veturien määrää, mutta konttien määrä on sidottu vaunujen määrään. Yhteen vaunuun sopii kolme konttia. Ohjelmassa ilmoitetaan erikseen ajossa olevien veturien ja vaunujen sekä konttien määrä. Näin ollen pienemmillä kuljetusmäärillä ei junakuljetuksen kokonaiskustannuksiin lasketa tyhjien vaunujen kuljettamista. Vuosikustannusten kautta kuitenkin kaikkien veturien, vaunujen ja konttien investointikustannukset huomioidaan kuljetuskustannuksissa.

Vuosikustannuksissa huomioidaan investointikustannukset poistojen kautta. Ohjelmassa voidaan määritellä pitoajat veturille ja vaunuille sekä erikseen konteille. Ohjelmassa voi määritellä erikseen myös lainojen korkoprosentin. Vuosikustannuksiin lasketaan lisäksi hallintokulut, vakuutus sekä muut muuttuvat kustannukset, jotka pitävät sisällään muun muassa työvaatteet, työkalut, sosiaalitilat, matkakulut, koulutukset ja työterveyskustannukset. Hallintokustannuksiin kuuluvat

muun muassa talous, työnjohto, turvallisuus, työantajan velvoitteet, ostot, luvat, tietojärjestelmät ja kehittäminen. Vuosikustannuksiin lasketaan myös ylläpitokustannukset, joihin sisältyvät henkilöstökustannukset seitsemällä kuljettajalla sekä veturin, vaunujen ja konttien huolto ja ylläpitokustannukset. Veturin huoltokustannukset pohjautuvat vuosittaiseen käyttötunteihin ja tuntihintakustannukseen. Vaunujen kustannuksissa on käytetty vuosiarviota ja konttien prosenttiarvioita. Ohjelmassa kaikkia näitä kustannuksia voidaan muuttaa.

Ohjelma laskee erikseen vuosikustannukset hakejunalle ja raaka-aine junalle. Raaka-ainejunan kustannuksissa on oletuksena, ettei kontteja tarvita, näin ollen konttien investointikustannuksia ei myöskään lasketa raaka-ainejuna vaihtoehtona.

Ohjelmassa on myös käyttötiedot, joissa määritellään polttoaineenkulutus, ajon keskinopeus, hakkeen lastausaika junaan ja siihen sisältyvät vaihtotyöt sekä purkausaika junasta ja siihen sisältyvät vaihtotyöt. Raaka-ainekuljetusten lastaus ja purkausaika määritellään erikseen. Lisäksi määritellään kuinka kauan junan kääntäminen kestää, mikäli vain yksi veturi käytössä ja kuinka montaa kertaa juna pitää kääntää yhdellä edestakaisella ajokerralla. Ajon keskinopeus määritellään laskien sekä lastattuna että tyhjänä ajon keskinopeus. Ohjelma olettaa, että juna ajaa yhtä reittiä edestakaisin. Ohjelmassa määritellään lisäksi kuinka monta hake- tai raaka-ainetonnin saadaan vaunuun mahtumaan, kuinka monta ajopäivää vuodessa kertyy ja monta tuntia vuorokaudessa juna on käytössä. Lisäksi määritellään veturin paino, vaunujen painot konttien kera ja ilman kontteja, polttoaine, ratamaksu sekä haluttu kateprosentti. Kaikkia näitä arvoja voi käyttäjä tarvittaessa muuttaa, mutta ohjelmasta löytyy perusoletukset kaikille arvoille.

Kuljetuskustannukset on laskettu seuraavasti kuorman ajokilometrille. Kustannuksiin jaettavaksi lasketaan yhteensä kertyneet vuosikustannukset plus vuoden aikaiset polttoainekustannukset ja ratamaksut. Polttoainekustannukset lasketaan kuljettavat kilometrit kerrottuna ajopäivät vuodessa sekä päivässä ajettavat ajokerrat. Päivässä ajettavat ajokerrat lasketaan kuljettava matka sekä paluumatka jaettuna ajon keskinopeudella. Tähän lisätään vaunun lastaus ja purkuajat sekä kään-

tömäärät ja vuorokauden tunnit jaetaan saadulla tuloksella, joka lopuksi kerrotaan polttoaineen hinnalla, josta arvonlisävero on poistettu. Ratamaksu lasketaan kuormassa kuljettavat ajokilometrit kerrottuna kuorman tonnit, ajopäivät vuodessa sekä päivässä ajettavat ajokerrat. Tähän lisätään veturin ja vaunujen painot, jotka on myös kerrottu ajopäivillä vuodessa sekä ajokerroilla päivässä sekä kuormassa että tyhjänä ajettavilla matkoilla. Saatu tulos kerrotaan ratamaksulla, joka on jaettu sadalla, koska ratamaksu ilmoitetaan ohjelmassa sentteinä per bruttotonnikilometri. Jakajaksi lasketaan ajetut kuormatonnit, jotka lasketaan vaunuun lastattavat tonnit kerrottuna vaunujen määrällä ja ajopäivillä vuodessa ja ajo kerroilla päivässä. Kate lisätään saatuun tuloon kertomalla se kateprosentilla.

Kuljetuskustannukset kaavana

$$KK = VK + ((2 * KM * AP / PAK * 100 * (24 / ((2 * KM) / AKN + KA * KMK + (L + P) * VA) / 24 * AT)) * PA) + ((KM * (KT * VA * AP * (24 / ((2 * KM) / AKN + KA * KMK + (L + P) * VA) / 24 * AT)) + (VA * VAP + VE * VEP) * AP * (24 / ((2 * KM) / AKN + (L + P) * VA + KA * KMK) / 24 * AT) * KM * 2 * RT / 100)) / (KT * VA * AP * (24 / ((2 * KM) / AKN + (L + P) * VA + KA * KMK) / 24 * AT)) * (1 + KP)$$

KK = kuljetuskustannukset valitulle kilometrimäärälle

VK = vuosikustannus

KM = kilometrit

AP = ajopäivät vuodessa

AT = ajotunnit päivässä

PAK = polttoaineen kulutus litroissa 100 kilometriä kohden

AKN = ajon keskinopeus kilometreinä tunnissa

KA = kääntöaika tunneissa

KMK = kääntömäärä kappaleissa yhtä ajokertaa kohden

L = lastaukseen käytetty aika tunnissa vaunua kohti

P = purkuun käytetty aika tunneissa vaunua kohti

VA = vaunujen kappalemäärä

VE = veturien kappalemäärä

PA = polttoaineen hinta euroissa litraa kohden

KT = kuorman määrä tonneissa

VEP = veturin paino tonneissa

VAP = vaunun paino tonneissa

RM = ratamaksu sentteinä tonnikilometriä kohden

KP = kateprosentti

### 3.3.3 Vesialuskuljetukset

Vesialuskuljetuksissa käyttäjän ei tarvitse määritellä mitään ottaakseen vesialuksen tiedot käyttöön. Käyttäjällä on kuitenkin mahdollisuus valita julkisen satama-terminaalin sijaan oma terminaali ja määritellä oman terminaalin tiedot. Ohjelmassa oletuksena kuitenkin julkinen terminaali, jossa kaikki tarvittavat tiedot on määritelty oletusarvoihin.

Vesialuksen kustannukset laskettiin investointikustannusten ja käyttötietojen kautta. Pohjatietoja ohjelmaan saatiin Vapolla eri yhteistyökumppaneiden kanssa tehdyistä tutkimuksista sekä julkisista tutkimuksista esimerkiksi Rannan Metsäenergian tehokkaat kuljetusmuodot vuodelta 2010. Hinnat laskettiin kuljetettavaa tonnia kohden kuljetettavalle matkalle. Matkataulukkona käytettiin autokuljetuksissa olevaa matkajakoa. Kymmenestä viiteenkymmeneen kilometriin hinnat on ilmoitettu 2 kilometrin välein ja siitä ylöspäin 5 kilometrin välein. Kustannukset voidaan muuttaa myös vesikuljetusten osalta kilometrin välein, mutta koska kyseessä on nimellinen laskelma, niin 5 kilometrin välinen arvio on riittävän tarkka.

Investointikustannuksissa huomioitiin aluksen hinta sekä sen jäännösarvo. Ohjelmassa huomioidaan myös pitoaika sekä lainan korkoprosentti. Vuosikustannuksiin arvioitiin investointikustannusten lisäksi henkilöstökulut, korot, vakuutukset ja kunnossapidon kustannukset. Vuosikustannusten lisäksi ohjelman kuljetuskustannukset huomioivat polttoainekustannukset, terminaalin käsittelykustannukset, liikennöintimaksun sekä kuljetusyrittäjän katteen.

Ohjelmassa voidaan tehdä valinta oman terminaalin ja julkisen terminaalin väliltä kuvan 9 mukaisesti. Omassa terminaalissa terminaalin rakennus- ja ylläpitokustannukset lisätään hintaan, mutta taas julkisen terminaalin käsittelykustannukset jäävät pois. Oma terminaali on laitettu ohjelmaan, koska kaikkialla ei välttämättä ole julkista terminaalia saatavilla ja ohjelmalla voidaan näin laskea milloin oman

terminaalin rakentaminen voisi olla kannattavaa. Mikäli satamaksi valitaan oma terminaali, voidaan ohjelmassa tehdä lisävalinnat rautatieyhteyden, meluvallin ja pohjavesialueen osalta. Nämä kaikki valinnat vaikuttavat oman terminaalin rakennuskustannuksiin. Ohjelmassa ei kuitenkaan huomioida oman sataman perustamisen kustannustenlaskemista kuten ruoppaamista vaan vain satama-alueelle tarvittavan terminaalin rakentamisen. Oletusarvona on ohjelmassa julkinen terminaali. Käyttäjän pitää aina erikseen käydä valitsemassa vesialus välilehdeltä *oma terminaali*. Omassa terminaalissa oletuksena on aina että se ei tarvitse meluvallia eikä se sijaitse pohjavesialueella. Rautatienosalta ohjelma käyttää tietoa, joka näkyy valintaluukussa. Käyttäjä voi muuttaa näitä tietoja samalla jos hän valitsee vaihtoehdoksi oman terminaalin. Tätä tietoa käytetään jokaisessa toimitusketjussa, mikäli niihin on valittuna kuljetusmuodoksi vesialus. Ohjelmaan ei ole rakennettu erikseen mahdollisuutta valita vesialus julkisella terminaalilla toiseen toimitusketjuun ja omalla terminaalilla toiseen ketjuun.

Kuva 9. Satamaterminaalin valitut tiedot

Oma terminaali laskee kustannukset terminaalialueen, terminaalin tietojen ja hinnanaston avulla. Terminaalialueessa määritellään kuinka paljon haketta yksi kehyskuutio on kiintokuutioina ja kuinka paljon yksi kiintokuutio on irtohake kuutioina. Lisäksi määritellään irtokuution megawattitunnit, varastokasan tilantarve sekä varastokasan korkeus. Ohjelma myös huomioi kasan muodon kertoimen avulla. Terminaalialueen kaikkia määrittämiä pääsee käyttäjä tarpeen mukaan muuttamaan. Terminaalitiedoissa määritellään tarvittava yhdystien pituus, mahdollinen metsätien pituus, pysäköintialueen koko, terminaalin pitoaika, lainojen korkopro-

sentti ja terminaalin jäännösarvo. Ohjelma olettaa että satamaterminaaali on aina asfaltoitu, joten sitä ei vesialuksen ohjelmassa pääse valitsemaan. Lisäksi ohjelmassa voidaan valita rautatieyhteyden pituus, raidevaihteiden määrä, meluvalli ja pohjaveden suojauksen tarve. Terminaalitiedoissa käyttäjä pääsee muuttamaan kaikkia muita tarpeen mukaan paitsi asfaltoitavan alueen suuruutta sekä pohjaveden suojauksen suuruutta mikäli suojausta tarvitaan. Hinnastossa on annettu hinnat yhdystielle per metri, metsätielle per metri, pysäköintialueelle per neliö, asfaltialueelle per neliö, rautatieraiteen hinnalle per metri, rautatievaihteen hinnalle, meluvallille per metri, pohjaveden suojaukselle per neliö ja rautatien kunnostukselle koskien koko terminaalin käyttöön tulevan rautatiepätkän kunnostamista. Ohjelman käyttäjä pääsee muuttamaan näitä kaikkia hinnaston hintoja tarpeen mukaan.

Käyttötiedoissa voidaan määritellä aluksen keskinopeus solmuissa, ajopäivät vuodessa, lastauksen ja purkauksen teho kuutioina tunnissa, hevosvoimat ajossa ja polttoaineen kulutus ajossa litraa per hevosvoima per tonni. Käyttötiedoissa voidaan määritellä kuinka paljon lastia kuormataan tai puretaan yhdellä polttoainelitralla. Lisäksi käyttötiedoissa määritellään aluksen kapasiteetti. Tiedoissa määritellään myös polttoaineen kulutus seisonnassa litroina tunnissa ja aluksen yhden kuorman viemä lastaus ja purkuaika tunteina, kumpikin erikseen. Lisäksi käyttötiedoissa määritellään aluksen pitoaika, lainoista maksettavat korkoprosentit, vesialusta pyörittävän yrityksen voitto/kateprosentin suuruus, liikennöintimaksun suuruus, polttoaineen hinta sekä terminaalin käsittelymaksut.

Kuljetuskustannukset kaavana

$$KK = (((((24 / ((2 * KM) / (KV * S) + L + P)) * KT * TF * AP) + ((24 / ((2 * KM) / (KV * S) + L + P)) * KT * THC * AP) + ((2 * KM / (KV * S)) * (24 / ((2 * KM) / (KV * S) + L + P)) * PKA + (L * PKS + PKS * P) * (24 / ((2 * KM) / (KV * S) + L + P))) * PA * AP) + VK) / ((24 / ((2 * KM) / (KV * S) + L + P)) * AP * KT)) * (1 + KP)$$

KK = kuljetuskustannus määriteltyä matkaa kohti

VK = vuosikustannus

KM = kilometrit  
 KV = keskivauhti solmuina tunnissa  
 S = 1 solmu kilometreinä  
 AP = ajopäivät vuodessa  
 PKA = polttoaineen kulutus ajossa  
 PKS = polttoaineen kulutus seisonnassa  
 L = lastaukseen käytetty aika yhtä aluskuormaa kohden  
 P = purkuun käytetty aika yhtä aluskuormaa kohden  
 KT = kuorman määrä tonneissa  
 THC = terminaalin käsittelymaksut  
 KP = kateprosentti  
 TF = liikennöintimaksu  
 PA = polttoaineen hinta euroissa litraa kohden

### 3.4 Haketuksen kustannukset

#### 3.4.1 Terminaalin ja terminaalihaketuksen kustannukset

Terminaalikustannukset tehtiin jokaiselle terminaalivaihtoehdolle erikseen, mutta kustannukset lasketaan samalla tavalla. Terminaalivälilehdelle, kuva 10, käyttäjä lisää terminaalin tuotantotiedot sekä terminaalinvarustelun. Terminaalin tuotanto-tietoihin kuuluvat terminaalin kapasiteetti, läpimenoaika sekä terminaalin käyttö-aste. Nämä tiedot käyttäjä aina itse määrittelee, muuten ohjelma käyttää nolla arvoja. Terminaalinvarustelussa käyttäjä määrittelee sijaitseeko terminaali mahdollisesti pohjavesialueelle, onko terminaalissa vaaka, asfaltointi tai tarvetta meluval-lille. Varustelussa käyttäjä valitsee seuraavista vaihtoehdoista yhden; valmis rau-tatie, rakennetaan uusi rautatie, kunnostetaan vanha rautatie tai terminaaliin ei tule rautatietä ollenkaan. Jos käyttäjä ei itse määrittele tietoja ohjelma olettaa ettei terminaalissa ole vaakaa, asfalttia, meluvallia eikä se sijaitse pohjavesialueella. Rautatiestä ohjelma käyttää sitä tietoa joka näkyy valinta luukussa. Kaikkiin mui-hin välilehdellä oleviin parametreihin on annettu oletusarvot, joita käyttäjä kui-tenkin pääsee tarvittaessa muuttamaan.



TERMINAALIN TUOTANTOTIEDOT		TERMINAALISSA
Terminaalin kapasiteetti	0 i-m3/a	<input type="checkbox"/> POHJAVESIALUE
Läpimenoaika	0 d	<input type="checkbox"/> VAAKA
josta haketus vie	0,0 d	<input type="checkbox"/> ASFALTTI
Terminaalin käyttöaste	0 %	<input type="checkbox"/> MELUVALLI
		Rautatie valmiina ▼
		Rautatie valmiina
		Rautatie kunnostetaan
		Ei rautatietä
		Uusi rautatie

Kuva 10. Terminaalin tuotantotiedot

Välilehdellä on erikseen parametrit terminaalin kustannusten laskemiseksi sekä haketuksen kustannusten laskemiseksi. Terminaalikustannuksissa kerätään erikseen investointikustannukset, jotka ovat jakautuneet vaa'an kustannuksiin, pysäköintialueeseen, sora-alueeseen, rautatiehen, asfaltointiin, teihin, meluvalliin ja pohjaveden suojaukseen. Näitä investointi kustannuksia ei käyttäjä pääse suoraan muuttamaan mutta niihin vaikuttavia hinnastoa ja terminaalin tietoja pääsee. Hinnastossa on hinnat yhdystielle, metsätielle, pysäköintialueelle, asfalttialueelle, sorapelialueelle, lisäraiteelle, rautatievaihteelle, meluvallille, pohjaveden suojaukselle ja rautatiepätkän kunnostuskustannuksille. Kaikki hinnat ovat kappale per metri (kpl / m) tai per neliömetri (kpl / m<sup>2</sup>) hintoja. Terminaalitiedoissa taas arvioidaan tarvittavien teiden pituudet, pysäköintialueen koko, lisäraiteen pituus ja vaihteiden määrä, meluvallin pituus, mahdollisen hakkeen hävikkipatjan korkeus, mahdollisen hävikkihakkeen kustannukset, terminaalin pitoaika sekä sen jäännösarvo. Ylläpitokustannuksissa on lumenaurauksen kustannukset, mahdollisen vaa'an huoltokulut, henkilöstökulut, sekä mahdolliset muut kustannukset. Lisäksi ylläpitokustannuksissa käyttäjä näkee hakehävikin suuruuden, mikäli terminaalin ei ole valittu asfaltointia. Vuosikustannuksiin tulee vakuutukset sekä hallintokulut, sekä informatiivisena tietona käyttäjä näkee investointikustannusten poistot, korkokustannukset sekä ylläpidon kokonaiskustannukset.

Haketuksen osalta ohjelmassa on investointikustannukset, joka sisältää hakkurin kustannukset. Vuosikustannuksissa on investointikustannusten poistot ja korot se-

kä lisäksi huolto ja kunnossapito, voiteluainekustannukset ja henkilöstökustannukset. Haketustiedoissa on tehotuntituottavuus irtokuutioina per tunti, käyttötuntien määrä vuorokaudessa, polttoaineen kulutus litroina tunnissa, tehotuntikerroin, pitoaika, korko ja kateprosentti sekä polttoaineen hinta. Lisäksi informatiivisena tietona, jota käyttäjä ei suoraan pääse muuttamaan ovat käyttöpäivät, haketusmäärä per tunti sekä haketuskerrat.

Terminaalivälilehdellä on lisäksi taulukko terminaalin pinta-alaa laskettaessa käytettävistä kertoimista sekä raaka-aineelle että hakkeelle, joita jokaista käyttäjä pääsee muuttamaan. Kertoimet raaka-aineelle ovat kiintokuutio per kehyskuutio, irtokuutio per kiintokuutio, megawatti per irtokuution, tilantarve, raaka-aine pinon korkeus ja leveys metreinä. Hakkeelle on samat kertoimet mutta lisäksi hake kasan muodon kerroin, koska oletus on että raaka-aine kasa on suorakaiteen muotoinen pino jolloin sen koko voidaan laskea suoraan pituus kertaa leveys kertaa korkeus, mutta hake kasa on kolmion mallinen koska kasa on aina leveämpi alhaalta kuin ylhäältä. Hakkeen pinta-alaa määrittäessä käytetään tämän vuoksi kaaviossa erillistä hakekasakerrointa.

Välilehdelle lasketaan terminaalin haketuskustannukset vuodessa, terminaalin käyttökustannukset vuodessa, haketuksen ja terminaalin kustannukset per irtokuutio sekä kuiva-aine tappiot vuodessa ja prosentteina. Nämä kustannukset ja tiedot käyttäjä näkee eroteltuna välilehdellä.

Haketuksen kustannukset per irtokuutio lasketaan haketuksen vuosikustannukset, joihin lisätään polttoaineen hinta kerrottuna polttoaineen kulutuksella, käyttöpäivillä sekä käyttötunneilla, jotka on jaettu tehotuntikertoimella. Nämä kerrotaan katteella ja jaetaan terminaalin kapasiteetin ja käyttöasteen tulolla.

Terminaalihaketuksen kustannukset kaavana

$$THK=((HV+(PA*PK*KT/TTK*KP))*(1+K\%))/(TK*KA)$$

THK = terminaalihaketuksen kustannukset annetulle määrälle

HV = haketuksen vuosikustannukset  
 PA = polttoaineen hinta euroissa per litra  
 PK = polttoaineen kulutus litroina per tunti  
 KT = käyttötunnit per päivä  
 TTK= tehotuntikerroin  
 KP = käyttöpäivät vuodessa  
 K% = kateprosentti  
 TK= terminaalin kapasiteetti kuutioina vuodessa  
 KA = käyttöaste prosentti

Haketuksen vuosikustannuksiin lisätään terminaalin kustannukset kuutioina, jotka eivät sisällä kuitenkaan hävikkipatjan kustannuksia, mikäli hakealuetta ei ole asfaltoitu eikä kuiva-aine tappioita. Hävikkipatja tarkoittaa haketta, joka ei ole hyödynnettävissä, vaan se jää maahan soran sekaan. Hävikkipatjan kustannukset ja kuiva-aine tappiot huomioidaan ohjelmassa erikseen ja lisätään vasta lopullisiin kustannuksiin. Hakkeen hävikkikustannukset lasketaan käyttäjän antamien varastointitietojen mukaan ja vaihtelevat näin ollen toimitusketjusta toiseen. Käyttäjä voi kuitenkin antaa hävikkikustannuksille euromääräisen arvon irtokuutiota kohden, jota kaikissa terminaalin sisältämissä toimitusketjuissa käytetään.

Terminaalinkustannusten laskemiseksi tarvitsee määritellä terminaalin tarvitsema pinta-ala. Se lasketaan käyttäjän antamasta terminaalin vuosikapasiteetista ja läpimenoajasta käyttämällä Vapolla tehtyä pinta-ala kaaviota. Vuosikapasiteetti määrä ei tarkoita toimitusketjussa kuljetettavaa määrää, vaan sitä kuinka iso käyttäjän mukaan terminaalin tulisi olla. Käyttäjän on helpompi mieltää terminaalin koko vuosituotantona kuin antaa ohjelmaan tarvittavat pinta-ala tiedot. Tilantarve raaka-aineelle lasketaan päivässä tehtävän irtokuutio hakemäärä kerrottuna kiinto-kuutio kertoimella kerrottuna kehyskuutiokertoimella jaettuna tilantarpeella ja raaka-aine pinon korkeudella. Hakkeelle se tehdään muuten samoin, mutta lisäksi huomioidaan hakkeelle erikseen annettu hakekasakerroin.

### 3.4.2 Metsätienvarsihaketuksen kustannukset

*Metsätievarsihaketus* välilehdellä on annettu valmiiksi kaikki tarvittavat oletusarvot ja käyttäjän ei tarvitse muuttaa mitään ottaakseen metsätievarsihaketuksen käyttöön. Käyttäjä pääsee kuitenkin halutessaan muuttamaan kaikkia välilehden oletusarvoja.

Metsätievarsihaketuksessa kysytään investointitiedot, joihin kuuluu hakkurin hinta, pitoaika, korkoprosentti ja kateprosentti. Ylläpitokustannuksissa huomioidaan huollon ja kunnossapidon kustannukset, voiteluainekustannukset, lumenauraus, muut kustannukset sekä henkilöstökustannukset. Vuosikustannuksiin kuuluvat ylläpitokustannukset, investointikustannusten poistot ja korot ja sekä lisäksi vakuutukset ja hallinnonkulut. Käyttäjätiedoissa annetaan haketusteho irtokuutiona per tunti, tehotuntikerroin, käyttötunnit per päivä, vaihtoon kuluva aika, kun siirrytään haketuksesta ajamiseen, ajonopeus siirtymillä, käyttöpäivä, polttoaineen kulutus haketuksessa, polttoaineen kulutus ajossa ja polttoaineen hinta.

Metsätievarsihaketuksen kustannukset lasketaan lisäämällä vuosikustannuksiin polttoaineen kulutus haketuksessa ja ajossa. Tämä kerrotaan katteella ja jaetaan vuosituoannon määrällä.

Metsätienvarsihaketuksen kustannukset kaavana

$$MHK = ((VK + (PKH * PA * (((VKK * VLM / (HT / TTK)) / ((VKK * VLM / (HT / TTK)) + ((VA * VLM) + SP / AN * (VLM - 1)))) * KT) * KP)) + (AN * (((VA * VLM) + SP / AN * (VLM - 1)) / ((VKK * VLM / (HT / TTK)) + ((VA * VLM) + SP / AN * (VLM - 1)))) * ((VA * VLM) + SP / AN * (VLM - 1)) * KP) * PKA * PA)) * (1 + K\%) / (((VKK * VLM / (HT / TTK)) / ((VKK * VLM / (HT / TTK)) + ((VA * VLM) + SP / AN * (VLM - 1)))) * KT) * KP) * HM)$$

MHK = metsätievarsihaketuksen kustannukset annetulle määrälle

VK = vuosikustannukset

PA = polttoaineen hinta euroina litrassa

PKH = polttoaineen kulutus haketuksessa litroina tunnissa  
 PKA = polttoaineen kulutus ajossa litroina tunnissa  
 VKK= varastojen keskikoko irtokuutioina  
 VLM = varastojen lukumäärä kappaleina  
 HT = haketusteho kuutioina tunnissa  
 TTK = tehotuntikerroin  
 VA = vaihtoaika tunteina  
 SP = siirtymän pituus kilometreinä  
 AN = keskimääräinen ajonopeus siirtymillä kilometreinä tunnissa  
 KP = käyttöpäivät  
 KT = käyttötunnit  
 HM = haketusmäärä kuutioina tunnissa  
 K% = kateprosentti

### 3.5 Lastin kuormauksen ja purkamisen kustannukset

*Lastin kuormaus ja purku* välilehdellä käyttäjän ei tarvitse muuttaa mitään ottaakseen sen käyttöön. Jokaiselle tarvittavalle tiedolle on annettu oletusarvo, joita kuitenkin tarvittaessa pääsee käyttäjä muuttamaan.

Lastin kuormauksen ja purkamisen kustannukset on laskettu erikseen rangalle ja hakkeelle. Kummassakin vaihtoehdossa on vuosikustannukset jotka pitävät sisälleen poistot, korot, vakuutukset, hallinnon ja ylläpidon. Näistä käyttäjä pääsee suoraan muokkaamaan vakuutuksia ja hallinnon kuluja. Kummassakin vaihtoehdossa on myös täysin samanlaiset kuormaustiedot. Niihin kuuluvat käyttöpäivät vuodessa, tunnissa tehdyn työn määrä kuutioina, käyttötunnit per päivä, polttoaineen kulutus litroina per tunti, tehotuntikerroin, käyttötuntituottavuus kuutiona tunnissa, kapasiteetti ja polttoaineen kulut euroina per vuosi. Osa näistä on vain informatiivisena tietona. Käyttäjä pääsee muuttamaan käyttöpäiviä, käyttötunteja per päivä, polttoaineen kulutusta litroina ja tehotuntikerrointa. Rangalla on kuormaajatiedoissa kuormaajan hinta, puukouran hinta, huolto- ja kunnossapitokustannukset, voiteluaine kustannukset, henkilöstökustannukset, pitoaika vuosina, korkoprosentti, kateprosentti ja polttoaineen hinta, kuorman koko kuutiona, kuormaus ja purkuteho aika minuutteina, kuormaimen valmistelun teho aika mi-

nuutteina, kelkan käsittelyn ja sitomisen tehoaika minuutteina sekä yleinen aika minuutteina, johon lukeutuu mm. ajoneuvojen kääntämiset. Haketuksessa tiedot ovat lähes samat, mutta sieltä puuttuu puukuormaimen hinta ja aikoina on vain kuormausaika ja yleinen aika.

## 4. OLETUSTIEDOT JA LUOTETTAVUUS

Ohjelmassa käytettävistä oletustiedoista toiset arvot ovat täysin paikkaansa pitäviä, toiset arvot hyvin luotettavia ja muutamat arvot riittävän hyviä arvioita, siihen että saatavia tuloksia voidaan pitää suuruusluokalta oikeina. Saadut kustannukset antavat karkeita, suuntaa antavia arvioita, koska ohjelma on tehty varsin sovellettavaksi moneen eri tilanteeseen. Mitä tarkemman kustannusarvion käyttäjä haluaa, sitä useampaa arviota tulee hänen itse tarkistaa, koskien oletustietojen tarkkuutta ja oikeellisuutta kyseisessä tapauksessa. Oletustiedot eivät voi olla jokaisessa tapauksessa täysin oikeat, ne ovat vain arvioita suuruusluokasta.

### 4.1 Lähtötietojen oletusarvot ja luotettavuus

#### *Oletusarvot*

---

- 2,32 irtokuutiota vastaa 1 kiintokuutiota haketta
- 1 irtokuutio sisältää 0,8 megawattituntia energiaa
- 1 irtokuutio vastaa 0,35 tonnia haketta
- pääomakustannusten korkoprosentti 10

Lähtötiedoissa oletusarvoiksi on annettu hakkeen irtokuution kerroin verrattuna kiintokuutioon. Arvo on otettu Vapon asiantuntijoiden antamasta arvosta, joka sijoittuu yleisesti määrättyjen puunpolttoaineiden tunnuslukujen metsähakkeen arvon vaihteluvälille. Luku on näin ollen tarpeeksi luotettava käytettäväksi oletusarvona. Metsähakkeen tunnuslukujen taulukko löytyy Metsästä polttoaineeksi kirjasta (Metsästä polttoaineeksi s.11). Hakkeen sisältämä energiamäärä 0,8 megawattituntia on otettu samaisesta metsähakkeen tunnuslukujen taulukosta. Taulukossa käytetty irtokuution paino tonneina on otettu Vapon asiantuntijoiden antamasta arvosta. Arvo poikkeaa hiukan Metsähakkeen tunnuslukujen keskimääräisestä tiheyden arvosta  $300 \text{ kg} / \text{m}^3$ . Taulukon oletusarvona haluttiin kuitenkin

mennä varmanpäälle ja antaa hiukan keskimääräistä isompi arvo, joka yleisesti on Vapolla käytössä. Näitä kaikkia arvoja käyttäjä pääsee itse muuttamaan, mikäli hänellä on esimerkiksi tarkempaa tietoa käytettävästä hakelajista. Lisäksi taulukoon on lähtötietoihin annettu teoreettinen pääomakustannusten korkoprosentiksi 10. Korkoprosentti arvioitiin sen kokoiseksi mitä sijoituksen tuoton prosentin toivottaisiin keskimäärin olevan. Käytössä ei ollut tarkempaa tietoa mitä prosentin tulisi olla. Käyttäjällä on mahdollisuus muuttaa kyseistä arvoa.

## 4.2 Terminaalihaketuksen oletustietojen luotettavuus

### 4.2.1 Terminaalin tietojen luotettavuus

#### *Oletusarvot*

---

- Vaa'an hinta kaikkienensa 80 000 €
- Lumen auraus 4000 €
- Henkilöstö ja muut kustannukset 0 €
- Yhdystie 7 metriä leveä 500 m
- Metsätie 200 m
- Pysäköintialue 100 m<sup>2</sup>
- Lisäraide 1000 m
- Rautatievaihde 2 kpl
- Meluvalli 1000 m
- ”Hävikkipatjan” korkeus 0,1 m
- Terminaalin pitoaika 40 vuotta
- Terminaalin jäännösarvo 10 % hankinta hinnasta
- Yhdystie 7 m leveä 320 € / m
- Metsätie 35 € / m
- Pysäköintialue 84 € / m
- Sora-alue 47 € / m
- Lisäraide 1100 € / m
- Rautatievaihde 79 000 € / kpl



- Meluvalli 200 € / m
- Pohjaveden suojaus 21 € / m
- Vanhan rautatien kunnostusarvio 50 000 €

Terminaalikustannusten luotettavuus on riippuvainen niistä tiedoista joita terminaalihaketuksen laskentasisivulle on perustietoihin kerätty. Investointikustannuksista löytyy vaa'an hinta kaikkienensa, arviolta 80 000 euroa. Vaa'an arvioitu hinta on saatu Vapon yhteistyökumppanin asiantuntijalta, joka oli ollut hankkimassa terminaaliin vaakaa. Hinta on karkea arvio, mutta sen katsottiin olevan riittävä taulukossa käytettäväksi arvoksi. Vaa'an hinta huomioidaan laskelmissa vain, mikäli käyttäjä arvioi että terminaaliin tulee vaaka.

Euromääräisinä kustannuksina terminaalin ylläpitokustannuksissa on lumenauraus, henkilöstökustannukset ja muut kustannukset. Henkilöstö ja muut kustannukset on oletustietoihin arvioitu nolla hintaisiksi ja lumenauraus muutamia tuhansia euroa maksavaksi. Terminaalinhenkilöstö kustannukset ovat nolla hinnalla, koska Vapon oman henkilöstön kustannukset kuuluvat Vapon yleiskustannuksiin, eikä niitä näin ollen huomioida taulukossa. Haketusurakoitsijat ja vastaavat terminaali-toimijat, jotka eivät ole terminaalin henkilökuntaa ovat omissa haketus tai vastaavissa kustannuksissa. Terminaalin ei itsessään oleteta tarvitsevan henkilöstöä ja, siksi taulukossa nolla euroa. Terminaalin henkilöstökulut kuitenkin huomioitu taulukossa omassa solussa, jotta käyttäjä huomaa että henkilöstökustannusten tarve on huomioitu taulukossa. Mikäli myöhemmin katsotaan terminaalin tarvitsevan omaa henkilökuntaa, voidaan kustannukset helposti lisätä laskelmiin oikeaan paikkaan. Samasta syystä terminaalin muut kustannukset löytyvät taulukosta, mutta ovat nolla hinnalla.

Lumenaurauksen oletustiedot on pohjattu Vapon omiin tietoihin lumenauraamisen kuluista vuoden 2010 laskuista, mutta kustannukset todellisuudessa vaihtelevat paljon riippuen terminaalin paikasta ja koosta. Nämä kustannukset ovat kuitenkin prosentuaalisesti hyvin pieni kustannus terminaalihaketuksen kustannusjakaumassa, joten hiukan karkeampi arvio todettiin tässä kohtaa riittäväksi. Tärkeämpänä

pidettiin sitä että ne on otettu huomioon ja että käyttäjä voi tarvittaessa lisätä tarkemmat kustannukset taulukkoon ja ohjelma voi siitä ne huomioida.

Terminaalintiedoissa alkutietoihin on laitettu yhdystien ja metsätien pituudet. Pituudet arvioitiin yhdessä Vapon asiantuntijoiden kanssa miettien mitkä voisivat olla keskimääräisiä pituuksia, mutta arviot eivät perustu mihinkään tutkimukseen. Pysäköintialueen koko on sidoksissa terminaalin kokoon, oletustietona olevan koon ajateltiin olevan sopiva keskimääräisen terminaalin tarpeita mietittäessä. Todellisuudessa nämä pituudet ja pinta-alat vaihtelevat suuresti riippuen terminaalin sijainnista. Käyttäjän olisi hyvä määritellä ne itse, mikäli terminaalin sijainti on tiedossa, sillä näiden tietojen luotettavuus on täysin riippuvainen siitä, kuinka hyvin ne vastaavat laskennassa ajateltavaa terminaalialueita.

Rakennettavan lisäraiteen pituuden oletusarvo määriteltiin käyttäen apuna VTT:n biopolttoaineterminaalit käsikirjan (2011) taulukkoa 3. ja vaihteiden määrä otettiin suoraan samaisesta taulukosta. Tarvittava meluvallin pituus oletusarvoksi arvioitiin Vapon asiantuntijoiden kanssa, se ei sinällään perustu mihinkään tutkimukseen. Lisäraiteen pituus sekä meluvallin pituus ovat hyvinkin riippuvaisia siitä minne terminaalit sijoitetaan ja voivat vaihdella suuresti. Oletuksena voi kuitenkin olla kun raiteen pituus kasvaa, niin meluvallin pituus lyhenee. Todennäköistä on että lyhyempää raidetta tarvitaan lähempänä asutusta, jolloin meluvallin pituus kasvaa ja toisin päin. Lisäraiteen arvioitu metrihinta on kuitenkin yli viisinkertainen verrattuna meluvallin kustannuksiin, joten näiden kustannusten luotettavuus on täysin riippuvainen terminaalien sijainnin osumisesta oletustietoihin sopivalle alueelle. Terminaalien kustannuksia laskettaessa käyttäjän pitää ensin määritellä tarvitaanko terminaalille meluvallia ja tarvitseeko terminaalille rakentaa uusi raide. Mikäli kumpaakaan ei tarvita, ei näitä pituuksia ja kustannuksia huomioida laskelmassa. Käyttäjällä on myös mahdollisuus muuttaa pituus ja hintatietoja, mikäli hänellä on saatavilla tarkempia arvioita tai tietoa terminaalien sijaintipaikasta.

Hävikkipatjan korkeudeksi on arvioitu 10 senttimetriä. Tämä arvio on peräisin Vapon omilta asiantuntijoilta, eikä perustu mihinkään kirjalliseen tutkimukseen. Hävikkipatjan korkeus voi vaihdella mutta suuruusluokassa puhutaan kuitenkin

korkeintaan muutamista kymmenistä senteistä vuodessa. Tässä pidettiin tärkeänä sitä että ohjelma huomioi kyseisen kustannuksen, vaikka suuresta summasta ei välttämättä ole kysymys. Käyttäjä voi myös vaihdella hävikkipatjan korkeuden arvoa ja vertailla tuloksia asfaltoituun alueeseen.

Terminaalin pitoajaksi arvioitiin 40 vuotta ja jäännösarvoksi 500 000 euroa. Näistä tiedoista kumpikin voi vaihdella suuresti terminaalien sijainnin, koon ja siihen satsattujen investointien että myyntihetken maan markkina-arvon suhteessa. Näitäkin oletustietoja voi käyttäjä muuttaa tarkemmiksi, pitoajalla vuosikymmeninä ja jäännösarvolla on suuri merkitys terminaalinkustannuksissa.

Terminaalien hinnaston tiedot on otettu VTT:n Biopolttolaitosten terminaalit käsikirjasta (2011), taulukosta 2. Kyseisessä tutkimuksessa oli annettu metrihinnat yhdystielle, metsätielle, meluvallille ja lisäraiteelle. Perustamiskustannusten neliöhinnat samaisesta tutkimuksesta saatiin pysäköintialueelle, asfaltoinnille, sorapelialueelle ja pohjaveden suojaukselle. Samaisesta tutkimuksesta saatiin arviot rautatievaiheteille sekä rautatien kunnostukselle. Hinnat ovat riittävän luotettavia ohjelman tarkoitusta varten, vaikka ne ovat vuodelta 2006. Ne on kuitenkin otettu käsikirjaan käyttöön ja kirja on tehty vuonna 2011. Tulevaisuudessa on hinta-arvioita tarkasteltava inflaation tuomien vaikutusten mukaan.

#### 4.2.2 Haketuksen oletustietojen luotettavuus

##### *Oletusarvot*

---

- Hakkurin hinta 500 000 €
- Jäännösarvo 200 000 €
- Huolto ja kunnossapito 45 000 € / a
- Voiteluainekustannukset 15 000 € / a
- Vakuutukset 10 200 € / a
- Hallinto 5000 € / a
- Henkilöstökustannukset 140 000 € / a
- Tehotuntuottavuus 200 i-m<sup>3</sup> / h

- Käyttötunnit 16 h / vrk
- Polttoaineen kulutus 80 l / h
- Tehotuntikerroin 1,3
- Hakkurin pitoaika 4,6 a
- Korko 5 %
- Voitto 8 %
- Polttoaineenhinta 0,86 €
- Tilantarve kerroin 2,1 varastokasan pohjapinta-ala
- Raaka-aine pinon korkeus 5 m
- Raaka-aine pinon leveys 5 m
- Hakekasan korkeus 5 m
- Hakekasan kerroin 0,5
- Hakekasan leveys 5 m

Hakkurin hinta otettiin Joensuun yliopistossa tehdystä Juha Laitilan ja Kari Väättäisen *Kokopuun ja rangan autokuljetus ja haketustuottavuus* tutkimuksesta vuodelta 2011. Hankinnan hinta terminaalissa käytettävällä hakkurille 500 000 euroa on taulukossa arvonlisäveroltaan 0 prosenttia. Koska tutkimus on vuodelta 2011, inflaatio ei ole vielä vaikuttanut suuresti kustannuksiin, taulukossa voitiin käyttää suoraan tutkimuksen hintoja. Hakkurille jäännösarvo sekä pitoaika otettiin ohjelmaan Laitilan ja Väättäisen (2011) tutkimuksessa pitoajaksi oli määriteltä 4,6 vuotta ja jäännösarvoksi 200 000 euroa. Monessa tutkimuksessa mainitaan, että terminaalihakkureiden hinnat ovat huomattavasti korkeampia kuin mobiilihakkureiden hinnat, kuitenkin missään ei ollut esimerkkiä siitä miten hinnat poikkeavat toisistaan. Oletusarvoksi merkitty terminaalihakkurin hinta voi siis olla liian matala tai vaihtoehtoisesti mobiilihakkurin hinta metsähaketuksessa liian korkea, koska molemmat arvot otettiin Laitilan ja Väättäisen (2011) tutkimuksesta, jossa hinnat olivat samansuuruiset. Lähtökohtana oli kuitenkin, että terminaalissa käytettävä hakkuri on tehokkaampi kuin metsätienvarsihaketuksessa käytetty hakkuri.

Laitilan ja Väättäisen tutkimuksesta *Kokopuun ja rangan autokuljetus ja haketustuottavuus* tutkimuksesta vuodelta 2011 otettiin myös vuosittaiset huollot ja kunnossapitokustannukset ja voiteluainekustannukset kuin myös vakuutusmaksujen

suuruus pyöristettynä sekä hallintokulut. Näitä kaikkia vuosikustannuksia käyttäjä pääsee tarvittaessa muuttamaan.

Laitilan ja Väätäisen (2011) tutkimuksessa oli laskettu tuntihintoja käyttäen henkilöstökustannuksiin noin 100 000 euroa vuodessa ottamatta kantaa kuinka monta henkilöä tarvitaan. Laskennan yksinkertaistamiseksi ohjelmaan henkilöstökulut määriteltiin niin että yhden henkilön vuosikustannukset ovat 70 000 euroa riippumatta työtehtävästä. Haketus tarvitsee kaksi henkilöä yhden vuoroonsa, joten vuosikustannukset ovat 140 000 euroa. Todellisuudessa henkilöstökustannukset riippuvat vuorokauden ajasta, ylitöiden määrästä, henkilön tehtävästä, onko henkilö yrittäjä vai työsuhteessa. Arvio on kuitenkin riittävän tarkka ohjelman tarpeita ajatellen ja käyttäjä pääsee niitä tarvittaessa muuttamaan.

Tehotuntituottavuus arvioitiin eri lähteiden avulla yrittäen ottaa sellainen keskiarvo, joka olisi varmasti saavutettavissa. Kärhän ja Mutikaisen *Jensz HEM 820 DL runkopuun terminaalihaketus* tutkimuksessa vuodelta 2011 tehotuntituottavuudeksi saatiin 388 irtokuutiota sekä 316 irtokuutiota rankapuulla terminaalissa, mutta tuloksissa viitattiin että tutkimustulos poikkeaa paljon Kärhän ym. 2011B tutkimuksesta, jota en kuitenkaan löytänyt vertailtavaksi. Kärhän, Mutikaisen ja Hautalan *Vermer HG6000 terminaalihaketuksessa ja –murskauksessa* tutkimuksessa vuodelta 2010 pienpuun terminaalihaketuksen tehotuntituottavuus oli taas noin 170 irtokuutiota. Laitilan ja Väätäisen tutkimuksessa rangan tehotuntituottavuudeksi saatiin noin 168 irtokuutiota. Karttusen, Föhrin ja Rannan *Energiapuuta Etelä-Savosta* tutkimuksessa vuodelta 2010 rankahaketta saatiin 184 irtokuutiota ja tämä oli metsätienvarsihaketuksella. Näiden perusteella tehotuntituottavuuden oletusarvoksi ohjelmaan määriteltiin 200 irtokuutiota. Haketusteho on kuitenkin paljon riippuvainen käytettävästä hakkurista ja siihen liittyy myös investointikustannukset. Kiinteillä käyttöpaikkamurskaimilla voidaan saavuttaa jopa 500 kuutiota tunnissa. Tuottavuutta muutettaessa pitääkin samalla myös muistaa muuttaa investointihintoja ja polttoaineenkulutusta.

Kärhän, Mutikaisen ja Hautalan (2010) tutkimuksessa polttoaineen kulutus hakkurilla pienpuuta haketettaessa oli vähän alle 0,5 litraa irtokuutiota kohden eli noin

80 litraa tunnissa. Kärhän ja Mutikaisen (2011) tutkimuksessa polttoaineen kulu-  
tus oli 0,35 litraa irtokuutiota kohden, josta hakkurin osuus oli 84 prosenttia. Tun-  
tia kohden se tekee noin 93 ja 114 litraa. Näiden perusteella oletusarvoksi määri-  
teltiin 80 litraa tunnissa.

Kärhän ja Mutikaisen (2011) tutkimuksessa tehoajaksi saatiin noin 81 prosenttia  
ja noin 87 prosenttia kokonaistyöajasta. Kertoimina luvut olisivat noin 1,23 ja  
1,15. Laitilan ja Väätäisen tutkimuksessa toiminnalliseksi käyttöasteeksi termi-  
naalissa ilmoitettiin 85 prosenttia. Toiminnallinen käyttöaste on työtuntien ja ko-  
neen käyttötuntien suhdeluku. Tehotuntikertoimesta löytyy aika vähän tietoa tut-  
kimuksissa, joten oletusarvoksi määriteltiin 1,3 jotta se olisi varmasti saavutetta-  
vissa pidemmälläkin aikavälillä.

Käyttötunteihin arvoksi laitettiin kahden kahdeksan tunnin työvuoron verran. To-  
dellisuudessa tämä on riippuvainen yrittäjästä ja siitä miten hän työnsä järjestää,  
mutta ohjelman kannalta tämä on riittävän tarkka arvio työtuntien määrästä.

Korkojen vuosikustannus on laskettu yksinkertaisesti korkoprosentti kerrottuna  
hakkurin ostohinnalla. Korkoprosentti on käyttäjän muutettavissa. Korkoprosen-  
tiksi kaikissa oletusarvoissa arvioitiin viisi prosenttia. Todelliset korkokustannuk-  
set muuttuvat riippuen lainasta, lainaan liittyvistä maksuista ja lyhennystavasta.  
Tässä kuitenkin katsottiin korkojen kustannusten määräytyvän näin riittävällä  
tarkkuudella ohjelman tarpeisiin nähden. Yhdenmukaistamisen vuoksi samaa kor-  
koprosenttia käytettiin kaikissa oletusarvoissa läpi ohjelman.

Yrittäjän voittoprosentiksi kaikkien kulujen päälle lisättiin kahdeksan prosenttia.  
Kahdeksan prosenttia kulujen päälle käytettiin systemaattisesti läpi koko ohjel-  
man, riippumatta siitä mikä toiminto on kyseessä. Todellisuudessa luku voi olla  
mitä hyvänsä, riippuen markkinoista ja yrittäjästä, mutta laskennallisessa tarkoi-  
tuksessa kahdeksan prosentin voittoa voi pitää riittävänä.

Polttoaineen hinta katsottiin syksyllä 2011 olevista markkinahinnoista poistaen  
arvonlisävero. Oletushinnan määriteltäessä oli haasteellista miettiä kuinka pitkälti

aikaväliltä hintoja tulisi tarkastella. Polttoaineenhinta on oletusarvo, joka käyttäjän kannattaa itse määritellä ohjelmaa käyttäessä, koska se on helppo tarkistaa vastaamaan päivän hintoja.

Tilantarpeen kerroin, pinojen korkeudet ja leveydet sekä hakekasan kerroin ja laskentakaavat otettiin Ala-Fossin Antin tekemästä pinta-ala ohjelmasta, joka Vapolilla on käytössä ja näin ollen luotettavia ohjelman tarpeita ajatellen.

#### 4.2.3 Metsätievarsihaketuksen oletustietojen luotettavuus

##### *Oletusarvot*

---

- Hakkurin hinta 500 000 €
- Huolto ja kunnossapito 45 000 € / a
- Voiteluainekustannukset 15 000 € / a
- Henkilöstökustannukset 140 000 € / a
- Lumenauraus 4 000 € / a
- Vakuutukset 10 200 € / a
- Hallinto 5 000 € / a
- Käyttöpäivät 325 d / a
- Käyttötunnit 16 h / vrk
- Polttoaineen kulutus 60 l / h
- Tehotuntikerroin 2
- Haketusteho 100 i-m<sup>3</sup> / h
- Hakkurin pitoaika 8 a
- Korko 5 %
- Voitto 8 %
- Polttoaineenhinta 0,86 €
- Polttoaineen kulutus ajossa 0,35 l / km

Hakkurin hinta, huolto ja kunnossapitokustannukset, voiteluainekustannukset, vakuutusmaksut sekä hallintokulut otettiin Laitilan ja Väättäisen *Kokopuun ja rangen auto-kuljetus ja haketustuottavuus* tutkimuksesta kuten terminaalihaketuksessaakin oli tehty.

Tutkimuksessa taulukossa kaksi oli erikseen kustannukset metsätievarsihaketukselle kuin terminaalihaketukselle. Henkilöstökustannuksissa kuin myös pitoajassa sovellettiin samaa tapaa kuin terminaalihaketuksessa tehtiin.

Lumenaurauskustannukset arvioitiin Vapolle kertyneistä kustannuksista käyttäen samaa arvoa kuin terminaalikustannuksissa. Todellisuudessa kustannuksiin vaikuttavat paljon aurattavan alueen koko, sijainti, tehty sopimus, talven lumisuus jne. Ohjelmaan kuitenkin haluttiin jonkinlainen arvo, jotta käyttäjä näkee että asia on huomioitu ja että arvoa voi tarvittaessa muuttaa.

Käyttöpäiviksi määriteltiin 325 päivää vuodessa ja käyttötunneiksi 16 tuntia vuorokaudessa. Nämä ovat riippuvaisia yrittäjästä ja sopimuksesta, mutta arviot ovat tarpeeksi tarkkoja ohjelman tarpeita ajatellen.

Hakkurin haketustehon oletusarvoksi laitettiin 100 irtokuutiota tunnissa. Luku on selvästi vähemmän kuin Laitilan ja Väätäisen (2011) tutkimuksessa, jossa tuottavuudeksi saatiin noin 168 irtokuutiota tunnissa rankahakkeelle ja noin 138 irtokuutiota kokopuuhakkeelle. Nämä tulokset tosin saavutettiin terminaalihaketuksessa eikä metsätienvarressa, jossa lähtökohtaisesti voisi olettaa arvojen olevan pienempiä. Karttusen, Föhrin ja Rannan (2010) tutkimuksessa haketuksen tuottavuusarvot tehotunnille olivat rangalle 184 ja kokopuulle 162 irtokuutiota. Nämä tulokset saatiin tienvarsihaketuksessa. Kärhän, Hautalan ja Mutikaisen (2011) *Heinola 1310 ES hakkuutähteiden ja pienpuun tienvarsihaketus* tutkimuksessa oli tulos 179 irtokuutiota tehotunnissa sekä vertailulukuna toiseen tutkimukseen 114 irtokuutiota tehotunnissa. Pajuojaan, Kärhän ja Mutikaisen tekemässä Kesla C645A pienpuun tienvarsihaketus tutkimuksessa vuodelta 2011 metsätienvarressa haketta saatiin keskimäärin vain 78 irtokuutiota tehotunnissa. Tässä tutkimuksessa hakettiin ainoastaan kokopuuta eikä karsittua rankaa. Tulos ei siksi ole suoraan vertailukelpoinen valittuun oletusarvoon. Vertailtaessa tulosta kahden muuhun kokopuun haketustutkimukseen on tulos selvästi pienempi. Hakkurikoneiden tuote-esitteissä mobiilihakkureilla on mahdollista tehdä reilusti yli 200 irtokuutiota tehotunnissa. Tätä oletusarvoa olisi hyvä tulevaisuudessa tarkastella useampien eri tutkimusten perusteella.



Laitilan ja Väätäisen (2011) eikä Karttusen, Föhrin ja Rannan (2010) tutkimuksissa ollut tutkittu polttoaineen kulutusta haketuksessa. Pajuojaan, Kärhän ja Mutikaisen (2011) tekemässä tutkimuksessa mainittiin konevalmistajan ja yrittäjän tietojen mukaan polttoaineen kulutus hakkurilla olisi 0,5-0,6 litraa irtokuutiota kohden. Kärhän, Hautalan ja Mutikaisen (2011) tutkimuksessa konevalmistaja oli ilmoittanut polttoaineen kulutukseksi 0,4-0,5 litraa irtokuutiota kohden pienpuulle ja hakkuutähteelle. Näiden tietojen pohjalta laitettiin oletusarvoksi 60 litraa tunnissa. Oletusarvo on epävarma, mutta suuruusluokka on oikea. Tätä oletusarvoa olisi syytä tarkastella tulevaisuudessa eri tutkimusten perusteella. Syytä on myös muistaa, mikäli haketuksen tuotavuus tehotuntia kohden nousee, on syytä olettaa että myös polttoaineen kulutus kasvaa.

Karttusen, Föhrin ja Rannan (2010) tutkimuksessa tehotyöajan ja kokonaisajan väliseksi kertoimeksi saatiin noin 1,76. Laitilan ja Väätäisen tutkimuksessa toiminnalliseksi käyttöasteeksi, joka on käyttöajan ja työajan välinen suhdeluku, mainittiin 65 prosenttia. Pajuojaan, Kärhän ja Mutikaisen (2011) tutkimuksessa tehoaika oli hiukan yli 40 prosenttia kokonaisajanmenekistä, tällöin kertoimeksi tulisi selvästi yli kaksi. Tutkimuksessa kokonaisluku piti tosin sisällään hakkurin siirtoajat, jotka taas tehty ohjelma laskee erikseen. Näiden tietojen pohjalta oletusarvoksi laitettiin ohjelmaan kerroin 2.

Hakkurin pitoaika, korkoprosentti, voittoprosentti ja polttoaineen hinta määriteltiin samalla tavalla kuin terminaalihaketuksessa. Hakkurille ei asetettu jäännösarvoa, mutta pitoaikaa pidennettiin niin että vuosittaiset poistot vastaavat Laitalan ja Väätäisen tutkimuksen vuosipoisto arvoja. Korko ja voittoprosentit eivät sinällään perustu mihinkään tutkimukseen. Ne määriteltiin ajatellen mikä voisi olla keskimäärin realistista. Polttoaineen hinta ilman arvonnlisäveroa perustui syksyn 2011 markkinahintoihin.

## 4.3 Kuljetusten luotettavuus

### 4.3.1 Maantiekuljetusten tietojen luotettavuus

Autorahtihinnastossa ei ole niin sanottuja oletusarvoja, koska käyttäjä ei pääse hintoja itse muuttamaan. Autorahtihinnasto on luotettava Vapon käytössä, kun kuljetetaan haketta terminaalista käyttöpaikalle, koska ohjelma käyttää Vapon omaa vuosihinnastoa. Vuosihinnasto on myös tehty samalle alueajolle, joka ohjelmaan on tehty, joten myös alueelliset hintaerot ajokuljetuksissa ovat luotettavia. Hinnasto tulee kuitenkin vaihtaa vuosittain tai sen luotettavuus ohjelmassa muuttuu kustannusten ja hinnaston muuttuessa epäluotettavaksi. Tällä hetkellä puukuljetusten ja hakkeen kuljetusten metsätienvarresta käyttöpaikalle hinnastot ovat suuntaa-antavia, koska kyseiset hinnastot ovat vielä tekovaiheessa. Nyt ohjelmassa olevat hinnastot on määritelty yhdessä Vapon kuljetuspäällikön kanssa suuntaa-antaviksi haketta terminaalista käyttöpaikalle hinnaston pohjalta. Tiedot eivät siis ole täysin luotettavia vielä, mutta ovat kuitenkin riittävällä tarkkuudella ohjelmassa jo nyt käytettäviksi. Kun uudet hinnastot saadaan valmiiksi, tulee näistäkin hinnastoista luotettavia Vapon omaan käyttöön. Hinnastoissa on tärkeää muistaa päivittää uudet kustannukset ohjelmaan vuosittain tai hinnastot muuttuvat epäluotettaviksi.

### 4.3.2 Junakuljetusten oletustietojen luotettavuus

#### *Oletusarvot*

---

- Veturin hinta €
- Vaunun hinta €
- Kontin hinta €
- Kehityskulut €
- Veturien investointuna ja ajossa kpl
- Vaunuja investointuna ja ajossa kpl
- Polttoaineen kulutus l / km
- Ajon keskinopeus km / h

- Hakkeen lastaukseen käytetty aika h / vaunu
- Hakkeen purkamiseen käytetty aika h / vaunu
- Puun lastaukseen käytetty aika h / vaunu
- Puun purkamiseen käytetty aika h / vaunu
- Kääntöaika h / ajokerta, käytetään jos 1 veturi käytössä
- Kääntömäärä kpl / ajokerta, käytetään jos 1 veturi käytössä
- Hakekuorman paino tonnia
- Puukuorman paino tonnia
- Ajopäivät d / a
- Ajotunnit h / vrk
- Pitoaika veturi + vaunut a
- Pitoaika kontit a
- Korko 5 %
- Voitto 8 %
- Polttoaine 0,98 €/l
- Ratamaksu senttiä / brutto tonni km
- Muut muuttuvat kulut € / a
- Hallinto € / a
- Vakuutus €
- Henkilökulut € / a
- Ylläpito veturi € / a
- Ylläpito vaunut € / a
- Ylläpito kontit € / a
- Veturin paino tonnia
- Vaunut kontteineen tonnia
- Vaunut ilman kontteja tonnia

Junakuljetuksiin oletustiedot hankittiin kahdesta lähteestä. Toinen lähde oli Vapon ja yhteistyökumppanin tekemä tutkimus ja kustannusarvio vuodelta 2011 missä etsittiin mahdollisuuksia siirtää puiden ja hakkeen kuljetuksia rautatielle tietyille asiakkaille määrättyjen matkojen päästä. Vapon puolelta tätä tutkimusta oli teke-  
mässä tehtävässä toiminut Vapon logistiikkapäällikkö ja tämän opinnäytetyön ti-  
laaja Jari Leppänen. Toinen lähde oli Vapon oma turpeen, pelletin junakuljetuk-

siin tehty kustannuslaskelma, jonka Vapon logistiikkapäällikkö Leppänen oli laatinut.

Junatiedoissa investointikustannuksien oletusarvot saatiin Vapon ja yhteistyökumppaniin tekemästä tutkimuksesta. Tutkimuksessa oli mukana investoinnin kustannuksia ja näitä hintoja voitiin suoraa käyttää ohjelmaan. Myös tarvittavat veturien ja vaunujen määrät otettiin tästä tutkimuksesta. Tutkimuksen avulla saatiin laskettua myös tarvittavat muuttuvat kustannukset, hallintokustannukset sekä vakuutukset. Tutkimus antoi myös tarvittavat tiedot ylläpitokustannusten laskemiseen sekä kaluston että henkilöstön osalta. Samaisesta tutkimuksesta voitiin hyödyntää myös veturin ja vaunujen painot kontteineen ja ilman. Yhteistyökumppanin kanssa tehdystä tutkimuksesta sekä pelletin junakuljetuksien laskelmasta vertaillen saatiin tietoja polttoaineen kulutukseen, ajon keskinopeuteen, hakkeen ja puun lastaus ja purkuaikoihin sekä junan mahdolliseen kääntämiseen kuluvaan aikaan. Vapon omasta pellettien junakuljetuskustannuslaskelmasta otettiin käyttöpäivien määrä ja ajotunnit vuorokaudessa ja ratamaksu. Yhteistyötutkimuksesta otettiin myös vaunujen, veturien ja konttien pitoajat ja kuormien painot. Nämä oletustiedot ovat Vapon käyttöön varsin luotettavia, koska ne on tehty Vapon tarpeita ajatellen. Epäluotettavuutta voi tulla siitä että osa purku ja lastausajoista perustuu osittain turpeen lastaus ja purkuaika tietoihin.

Korkoprosentti ja voittoprosentti ovat arvioita, siitä mitä ne voisivat olla, eivätkä ne perustu mihinkään tiettyyn tutkimukseen tai lähteeseen. Voittoprosenttiin vaikuttaa todellisuudessa se kuka kuljetuksia järjestää ja millainen yrityksen muu kulurakenne on ja millainen kuljetusten markkinatilanne on. Ohjelmassa kate/voittoprosentti on sen takia, ettei ohjelma huomioi vain kuluja, koska se ei antaisi oikeaa hintaa vertailtaessa eri kuljetusmuotoja toisiinsa ja toimitusketjujen kokonaiskuluja. Polttoaineen hinta otettiin syksyn 2011 markkinahinnoista.

#### 4.3.3 Vesikuljetuksen oletustietojen luotettavuus

##### *Oletusarvot*

---

- Keskivauhti solmua / h
- Ajopäivät d / a
- Polttoaineenkulutus l / h
- Aluksen kapasiteetti i-m<sup>3</sup>
- Polttoaineen kulutus seisonnassa l / h
- Lastausaika h / kuorma
- Purkuaika h / kuorma
- Tiiveyskerroin
- Pitoaika a
- Korko 5 %
- Voitto 8 %
- Liikennöinti maksu € / m<sup>3</sup>
- Polttoaineenhinta € / l
- Terminaalimaksu € / m<sup>3</sup>
- Henkilöstö €
- Vakuutus €
- Kunnossapito €
- Aluksen hinta €
- Jäännösarvo €

Vesialuksen tiedoista osa otettiin Vapon ja yhteistyökumppanin tekemästä tutkimuksesta, kuten henkilöstökulut, vakuutus, kunnossapito, aluksen hinta ja jäännösarvo ja pitoaika sekä terminaali- että liikennöintimaksu. Karttusen, Jäppisen, Väättäisen ja Rannan *Metsäpolttoaineiden vesitiekuljetus proomukalustolla* tutkimuksessa vuodelta 2008 vastaavankokoluokan aluksen hinnaksi on mainittu hinaaja 3 800 000 ja proomu 1 000 000 euroa kappale. Lallukan *Metsähakkeen vesitiekuljetuksen kannattavuus* tutkimuksessa vuodelta 2006 samankokoisen hinaajan hinnaksi oli annettu 800 000 euroa ja proomun hinnaksi 600 000, jolloin kokonaishinta olisi noin 2 miljoonaa euroa. Ohjelmaan oletusarvoksi valittu aluksen hinta voi mahdollisesti olla liian matala tai liian korkea. Oletusarvoa on syytä tarkastaa uudempia tietoja saataessa.

Vapon ja yhteistyökumppanin tutkimuksessa maksimikapasiteetiksi oli arvioitu xxx kuutiota. Sama tilavuus löytyi myös Tapio Rannan *Metsäenergian tehokkaat*

*kuljetusmuodot* esitelmästä vuodelta 2010, jossa oli mainittu proomun maksimikapasiteetiksi 4000 - 5500 irtokuutiota, joka vastaa noin 1200 tonnia. Saimaan syväväylästä, joka on noin 4,2 metriä mahdollistaa noin 2500 tonnin kuormat, mutta Keitele-Päijänteen syvyys on vain 2,4 metriä ja tällöin proomuun voidaan lastata vain 1400 tonnia (Lähdevaara ym. 2010 s.78). Oletusarvoksi valittiin näiden pohjalta xxx kuutiota. Ajopäiviksi määriteltiin xxx päivää vuodessa, koska suurproomulla voi liikennöidä ympäri vuoden.

Karttusen *Biopolttoaineiden vesitiekuljetusmahdollisuudet Suomesta Itämeren alueelle* vuodelta 2008 työssä hakealuksen nopeudeksi on mainittu 16 kilometriä tunnissa, mikä vastaa hiukan yli kahdeksaa solmua. Lallukan tutkimuksessa proomun nopeudeksi mainitaan 8-9 solmua kesällä ja talvella 5-6 solmua tunnissa kuormattuna, tyhjänä ajettaessa nopeus on jopa 9-12 solmua tunnissa. Vapon ja yhteistyökumppanin tutkimuksessa nopeus oli xxx solmua, jota päätettiin käyttää myös oletusarvona.

*Hevosvoimat ja polttoaineen kulutuksen* oletusarvoksi määriteltiin xxx litraa tunnissa ajossa ja xxx litraa tunnissa lastauksen ja purun aikana, kulutus ohjelmassa ilmoitettiin käytettävien hevosvoimien ja litraa per hevosvoima tunnissa muodossa. Luvut otettiin Vapon omasta tutkimuksesta, mutta vertailukohtana oli hinaaja Arppe kulutus 500 litraa tunnissa talvella sekä Lallukan tutkimus, jossa polttoaineen kulutukseksi kerrotaan 160 litraa tunnissa. Hinaaja Arppen kulutus mainittiin Jenergian verkkolehdeissä 1/2005 artikkelissa *Puu kulkee Saimaalla talvellakin*.

Proomussa haketta voidaan tiivistää, jolloin yhden irtokuution suhde kiintokuutiin pienenee. Autokuljetuksissa yksi irtokuutio vastaa noin 0,4 kiintokuutiota vaihteluvälillä 0,38 - 0,46 kuutiota. Karttusen *Biopolttoaineiden vesitiekuljetusmahdollisuudet Suomesta Itämeren alueelle* vuodelta 2008 tutkimuksessa kerrottiin, että eri tutkimuksissa on proomuihin lastattuna eri tavoin saavutettu 38 - 58 prosentin tiivistymiä. Karttusen, Jäppisen, Väättäisen ja Rannan *Metsäpolttoaineiden vesitiekuljetus proomukalustolla* vuodelta 2008 tutkimuksessa saavutettiin hakkuutähdehakkeella 10 - 25 prosentin tiivistymä. Rannan *Metsäenergian tehokkaat kuljetusmuodot* esityksessä vuodelta 2010 proomuun voisi tiiveys olla 0,55

kiintokuutiota yhtä irtokuutiota kohden. Näiden tuloksien perusteella ohjelmaan arvioitiin varmasti saavutettavissa oleva xxx tiiveyskerroin riippumatta lastaustavasta.

Karttusen, Jäppisen, Väätäisen ja Rannan (2008) tutkimuksessa proomun purkamiseen käytettiin aluksen mukana kulkevalla materiaalinkäsittelykoneella erikseen tiivistetyn hakkeen 13 tuntia ja satamassa olevalla käsittelykoneella niin sanotun kukkurapäälastin 10 tuntia. Lallukan tutkimuksessa kuormaustehoksi ilmoitetaan 400 irtokuutiota tunnissa, mikä veisi xxx kuution aluksella xxx tiivistyskerroinella 12 tuntia ja purkutehoksi 240 kuutiota, mikä veisi 20 tuntia. Vapon ja yhteistyökumppanin tutkimuksessa oli käytetty lastaus- sekä purkuaikana xxx tuntia, jota päätettiin käyttää myös oletusarvoina. Oletuksena oli että työ saadaan aina tehtyä kyseisessä ajassa riippumatta matkasta, joka hakekasalta proomulle ja takaisin täytyy kulkea.

Voitto ja korkoprosentti määriteltiin kuten ohjelman muissakin osioissa. Polttoaineen hinta otettiin syksyn 2011 markkinahinnoista.

Vesialuksen kustannuksiin tehtiin myös mahdollisuus oman terminaalin rakentamiseen satama-alueelle. Ohjelmassa ei siis ole huomioitu oman sataman rakentamista vain ainoastaan oman maaterminaalin rakentaminen satama-alueelle. Terminaalien kustannuksissa käytettiin samoja tietoja kuin terminaalihaketuksessa terminaalintiedot ovat.

## 4.4 Kuormaus ja purku

### *Oletusarvot*

---

- Kuormaajan hinta 150 000 €
- Jäännösarvo 50 000 €
- Puukoura 5 000 €
- Huolto ja kunnossapito 30 000 €

- Voiteluaine 7 000 €
- Henkilöstö 140 000 € / a
- Pitoaika 4,6 a
- Korko 5 %
- Voitto 8 %
- Polttoaineen hinta 0,86 €
- Vakuutukset 10 200 €
- Hallinto 5 000 €
- Kuormakoko rangalla 48 m<sup>3</sup>
- Kuormakoko hakkeella 48 m<sup>3</sup>
- Kuormaus + purkuaika hakkeella 15 min / tehotunti
- Kuormaus + purkuaika rangalla 33,2 min / tehotunti
- Kuormaimen valmistelut rangalla 4,9 min
- Kelkan käsittely + kuorman sitominen rangalla 11,3 min
- Kääntämiset ym. 25,0 min
- Käyttöpäivät 325 d / a
- Käyttötunnit 16 h / vrk
- Polttoaineen kulutus 10 l / h
- Tehotuntikerroin 1,3

Rangan kuormaukseen ja purkuun kuluneet ajat sekä kuormakoon otin Juha Laitilan ja Kari Väätäisen *Kokopuun ja rangan autokuljetus ja haketustuottavuus* vuodelta 2011 tutkimuksesta. Tutkimuksessa rangan kuormakooksi oli määritelty 48 kuutiota ja minuuttia kohden kuormattiin ja purettiin 0,645 kuutiota. Kuorman kuormaamiseen ja purkuun laskettiin itse kuormaus- ja purkuaika tehotunteina, kuormaimen valmistelut, kelkan käsittely, kuorman sitominen ja avaaminen sekä muu yleinen aika sisältäen esimerkiksi kääntämiset ja punnitukset. Samasta tutkimuksesta taulukkoon otettiin myös hakkeen kuormakseen ja purkuun kuluneet ajat terminaalissa. Tutkimuksessa käytetty hakkeen kuormakoko oli 44 kuutiota ja minuutissa kuormattiin ja purettiin 1,1 kuutiota.

Kuormaimen ja puukouran hinta arvioitiin syksyllä 2011 myynnissä olleiden uusien ja käytettyjen tuotteiden hintojen avulla. Pitoaika arvioitiin Laitilan ja Väätäisen (2011) tutkimuksen pohjalta samaksi kuin hakkurin ja hakerekan pitoaika tut-



kimuksessa oli laitettu. Henkilöstökulut määriteltiin samoin perustein kuin muual-  
la ohjelmassa on määritelty. Huolto ja kunnossapito sekä voiteluainekuluista ei  
löydetty tietoa. Ainoa apuna käytetty tieto oli Laitilan ja Väättäisen tutkimuksen  
(2011) hakkurin ja hakerekan huolto ja kunnossapito sekä voiteluainekulutuksen  
tiedot. Näistä arvioista otettiin noin keskiarvot ja päädyttiin 7000 euroon ja 30 000  
euroon, jotka voivat poiketa paljonkin todellisista luvuista. Näitä tietoja tulisi tu-  
levaisuudessa korjata tarkemman tiedon ollessa saatavilla. Myös tehotuntikerroin  
määriteltiin käyttäen apuna hakkerin ja rekan tehotuntikertoimia eikä arvo perustu  
vastaavassa käytössä olevan pyörökuormaimen tietoihin. Kerrointa on syytä tar-  
kentaa kun tarkempaa tietoa on saatavilla.

Polttoaineen kulutus arvioitiin erilaisten työkäytössä olevien pyörökuormaajien  
perusteella, joista yksikään ei ollut tekemisissä hakkeen kuormauksen kanssa.  
Näin ollen kulutus on karkeasti suuntaa-antava ja sitä on syytä tarkentaa kun täs-  
mällisempää tietoa on saatavilla.

Hallinto ja vakuutuskuluina käytettiin samoja tietoja kuin haketuksen hallinto ja  
vakuutuskulut. Tiedot ovat hyvin epävarmat, mutta tarkempia tietoja ei ollut saa-  
tavilla. Suuruusluokalta ne ovat kuitenkin oikeita arvioita.

Voitto ja korkoprosentti määriteltiin kuten ohjelman muissakin osioissa. Polttoai-  
neen hinta otettiin syksyn 2011 markkinahinnoista. Käyttöpäiviksi määriteltiin  
325 päivää vuodessa ja käyttötunneiksi 16 tuntia vuorokaudessa. Nämä ovat riip-  
puvaisia yrittäjästä ja sopimuksesta, mutta arviot ovat tarpeeksi tarkkoja ohjelman  
tarpeita ajatellen.

## 5. TUTKIMUKSELLISEN KEHITTÄMISHANKEEN TARKASTELU

Aineisto ja menetelmät soveltuvat hyvin määriteltyyn tutkimusongelmaan, ja tutkimuksellisen kehittämishankkeen tuloksena syntynyttä ohjelmaa voidaan myös soveltaa muihin samankaltaisiin kohteisiin. Ohjelman luominen tapaustutkimus tyyppisellä menetelmällä on haastavaa, koska ohjelmaa ei välttämättä voida yleistää kaikkialle. Esimerkiksi ohjelmassa alueelliset Vapon kuljetushinnastot eivät välttämättä ole luotettavia muualla kuin Vapon toiminnoissa Suomessa. Ohjelman käyttäminen sellaisenaan muissa kohteissa voi olla vaikeaa myös siksi, että muissa kohteissa voi olla tutkittavaan tapaukseen verrattuna poikkeavia piirteitä, joita ohjelma ei ota huomioon ja jotka saattaisivat muuttaa ratkaisevasti saatavia tuloksia.

Kustannuksiin perustuva optimointi on loogisempaa ja tulokset helpommin perusteltavissa kuin niin sanottu pehmeiden tai laadullisten arvojen kautta tehty optimointi. Kustannuksiin perustuva tulevien tekemisten optimointi on aina kuitenkin siinä mielessä hankalaa, että kustannukset muuttuvat jatkuvasti. Toisaalta käyttäjän on helpompi perustaa päätöksensä ohjelmaa apuna käyttäen, koska hän voi helposti vertailla kaikki toimitusketjuun vaikuttavat kustannustekijät. Ohjelma antaa käyttäjälle myös mahdollisuuden muuttaa tietoja, mikäli uutta tietoa on saatavilla. Käyttäjä saa ohjelman avulla selkeämpiä, vertailtavissa olevia tuloksia eikä päätös jää yksinomaan mielikuvien varaan siitä mikä tuntuu kokonaisuudessa edulliselta tai kalliilta. Varsinkin operatiivisen toiminnan kustannukset muuttuvat sitä mukaan kun esimerkiksi palkat tai polttoaineen hinta muuttuu. Näillä muutoksilla voi olla vain marginaalisia vaikutuksia kokonaiskustannuksiin, mutta ne voivat vaikuttaa pahimmillaan ratkaisevasti myös tutkimustuloksiin.

Tutkimuksesta syntyneestä sovellusohjelmasta saatavia vastauksia voidaan hyödyntää kun mietitään kuinka tulevaisuudessa voidaan vastata energiyhtiöiden puupolttoaineen raaka-aine ostoihin. Ohjelmaa voidaan hyödyntää käytännöntyön

päätöksenteon apuna. Ohjelman antamia tuloksia voidaan myös hyödyntää kun mietitään millaisia terminaaleja mahdollisesti kannattaa rakentaa ja kuinka monta asiakasta terminaalin tulisi palvella. Ohjelman tuloksia voidaan myös käyttää pohjana erilaisten jatkotutkimusten tekemiseen. Riippumatta ohjelmasta saatavista tuloksesta hyödyntäminen käytännössä tuo väistämättä esiin myös uusia kysymyksiä, kuten voiko samassa toimitusketjussa käsitellä muutakin metsäenergiaa kuin karsittua rankapuuta. Ohjelmassa optimoidaan karsittujen runkopuiden kustannuksia eikä ohjelma huomioi miten tulokset muuttuvat, mikäli muita tuotteita otetaan mukaan samaan toimitusverkostoon.

Ohjelma rakentuu täysin laskentakaavoihin ja numeerisiin tietoihin. Excel taulukkolaskentaohjelma soveltuu yksinkertaisen ohjelman pohjalle hyvin. Excel-ohjelma myös löytyy jokaisen Vapon työntekijän koneelta, joten ohjelmaa ei tarvitse erikseen asentaa, eikä se vie paljon tilaa koneen muistilta. Mikäli tarkoituksena on myöhemmin lisätä esimerkiksi karttatietoja tai vastaavaa dataa, pitää ohjelma muuttaa jollekin muulle pohjalle.

## 6. LÄHDELUETTELO

Ala-Fossi A. 2011 Kehityspäällikkö ja Leppänen J. 2011. Logistiikkajohtaja. Vapo Oy. Keskustelut lokakuu 2011

Anttila, P. Toimintatutkimus. Virtuaaliammattikorkeakoulu. Ylemmän AMK-tutkinnon metodifoorumi. 6.11.2007. Viitattu 18.8.2011.  
<http://www.amk.fi/opintojaksot/0709019/1193463890749/1193464158778/1194360111832/1194360447229.html>

Biopolttoaineterminaalit. 2011 Ohjeistus terminaalien perustamiselle ja käytölle. Terminaalikäsikirja. Luonnosversio nr 2. VTT

CEN kiinteiden biopolttoaineiden terminologia CEN/TS 14588:2003

Energian hankinta ja kulutus; Energian kokonaiskulutus laski 2 prosenttia vuonna 2012. Tilastokeskus. Energia. Julkaistu 22.3.2013. Viitattu 25.3.2013.  
[http://www.stat.fi/til/ehk/2012/04/ehk\\_2012\\_04\\_2013-03-22\\_tie\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/ehk/2012/04/ehk_2012_04_2013-03-22_tie_001_fi.html)

EU:n ilmasto ja energiapaketti. Valtion ympäristöhallinto, Ympäristöministeriö. Viitattu 25.3.2013. [www.ymparisto.fi](http://www.ymparisto.fi)

Haketus. Pienpuun tuotanto. viitattu 22.8.2011.  
<http://www.ncp.fi/bioenergia/pienpuuntuotanto/2/2.3.1.htm>

Heikkilä, J., Laitila, J., Tantt, V., Lindblad, J., Sirén, M., Asikainen, A., Pasanen K., ja Korhonen K T., 2005. Karsitun energiapuun korjuuvaihtoehdot ja kustannustekijät. Metlan työraportti. Viitattu 20.03.2012.  
<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2005/mwp010.pdf>

Ihalainen, T. ja Niskanen, A. 2010. Kustannustekijöiden vaikutukset bioenergian tuotannon arvoketjussa, Metlan työraportti. Viitattu 20.03.2012.  
<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2010/mwp166.pdf>

Iikkanen, P., Keskinen, S., Korpilahti, A., Räsänen, T. ja Sirkiä, A. 2011. Energiapuuvirtojen valtakunnallinen optimointiohjelma. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 25/2011

Tapaustutkimus. Jyväskylän Yliopisto. Koppa. Viitattu 18.8.2011.

<https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat/tapaustutkimus>

Karttunen K. 2008. Biopolttoaineiden vesitiekuljetusmahdollisuudet Suomesta Itämeren alueelle. Raportti. Karttuva.

Karttunen, K., Föhr, J., ja Ranta, T. 2010. Energiapuuta Etelä-Savosta. Tutkimusraportti. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, teknillinen tiedekunta.

Karttunen, K., Jäppinen, E., Väätäinen, K. ja Ranta, T. 2008. Metsäpolttoaineiden vesitiekuljetus proomukalustolla. Tutkimusraportti. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Teknillinen tiedekunta, Energia- ja ympäristötekniikan osasto. Viitattu 20.3.2012.

[http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Erillisjulkaisut/Metsapolttoaineiden\\_vesitiekuljetus\\_proomukalustolla\\_2008\\_LUT.pdf](http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Erillisjulkaisut/Metsapolttoaineiden_vesitiekuljetus_proomukalustolla_2008_LUT.pdf)

Korpilahti, A. 1997. Kuormatilojen kehittäminen energiapuun kuljetusta varten, Metsätehon raportti 13. Viitattu 20.10.2011.

[http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti\\_013.pdf](http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti_013.pdf)

Metsästä polttoaineeksi. Toimittanut Kuitto, P-J. FinBio - Suomen Bioenergiayhdistys ry

Kärhä, K., Elo, J., Lahtinen, P., Räsänen, T. ja Pajuoja, H. 2009. Puupolttoaineiden saatavuus ja käyttö Suomessa 2020. Metsätehon Katsaus nro 40 /2009

Kärhä, K., Mutikainen, A. ja Hautala, A. 2011. Heinola 1310 ES hakkuutähteiden ja pienpuun tienvarsihaketuksessa. Metsätehon tulosalvosarja 9/2011. Viitattu 22.3.2012.

[http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Tulosalvosarja/Tulosalvosarja\\_2011\\_09\\_HEINOLA\\_1310\\_ES\\_hakkuutahteiden\\_kk.pdf](http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Tulosalvosarja/Tulosalvosarja_2011_09_HEINOLA_1310_ES_hakkuutahteiden_kk.pdf)

Kärhä, K., Mutikainen A. ja Hautala, A. 2010. Vermer HG6000 terminaalihaketuksessa ja –murskauksessa. Metsätehon tulosalvosarja 15/2010

Kärhä, K. ja Mutikainen, A. 2011. Jenz HEM 820 DL runkopuun terminaalihaketuksessa, Metsätehon tulosalvosarja 13/2011

Laitila, J. ja Väätäinen, K. 2011. Kokopuun ja rangan autokuljetus ja haketus-tuottavuus. Tutkimusartikkeli. Metsätieteen aikakauskirja 2/2011: 107-126.

Laitila, J., Leinonen, A., Flyktman, M., Virkkunen, M. ja Asikainen A. 2010. Metsähakkeen hankinta- ja toimituslogistiikan haasteet ja kehittämistarpeet. VTT Tiedote 2564

Lallukka, H. 2006. Metsähakkeen vesitiekuljetuksen kannattavuus. Vertailuselvitys. Järvisuomen uittoyhdistys

Lähdevaara, H., Savolainen, V., Paananen, M. ja Vanhala, A. 2010. Mailta ja mannuilta, soilta ja saloilta. Selvitys Keski-Suomen biomassakuljetusten logistiikasta. Jyväskylän ammattikorkeakoulu, teknologiayksikkö.

Metla.2010. Metsäenergian tuotannon kannattavuus on nyt lähes täysin tukien varassa. 21.10.2010. viitattu 19.8.2011.  
<http://www.metla.fi/uutiskirje/bio/2010-03/uutinen-3.html>

Metsäenergia. Energiateollisuus. Viitattu 18.8.2011 ja 26.4.2013.  
<http://www.energia.fi/fi/sahko/sahkontuotanto/puuenergia>

Metsähaketta luotettavasti. Vapo Oy. Viitattu 19.8.2011.  
[http://www.vapo.fi/fin/kunta\\_ja\\_yritysassiakkaat/biopolttoaineet/puupolttoaineet/puupolttoainelaadut/metsahake/?id=518](http://www.vapo.fi/fin/kunta_ja_yritysassiakkaat/biopolttoaineet/puupolttoaineet/puupolttoainelaadut/metsahake/?id=518)

MetsäVerkko. Haketus. viitattu 22.8.2011.  
<http://virtuoosi.pkky.fi/metsaverkko/index.html>

Paikallista puuta Vapolta. Vapo. Viitattu 19.8.2011.  
[http://www.vapo.fi/fin/vapo\\_biopolttoaineet/puupolttoaineet/?id=259](http://www.vapo.fi/fin/vapo_biopolttoaineet/puupolttoaineet/?id=259)

Pajuoja, H., Kärhä, K. ja Mutikainen, A. 2011. Kesla C654A pienpuu tienvarsihaketuksessa, Metsätehon tulostulosarja 1X/2011

Pitkän aikavälin ilmasto- ja energia strategia. Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 6. päivänä marraskuuta 2008. viitattu 19.8.2011  
[http://www.tem.fi/files/20585/Selontekoehdotus\\_311008.pdf](http://www.tem.fi/files/20585/Selontekoehdotus_311008.pdf)

Puu kulkee Saimaalla talvellakin. Jenergia. Artikkeliverkkolehti 1 / 2005 Julkaistu 17.03.2005. Viitattu 20.03.2012.  
<http://www.jenergielehti.fi/index2.php?id=18&articleId=53&type=8>

Puupolttoaineiden kuljetusten optimointi. Keiteleen kanavatyöryhmän taustaselvitys loppuraportti. Merenkululaitos, Ramboll, Pöyry. 2009.

Puut hakkeeksi oksineen vai karsittuna. Metla. 06.09.2011. Viitattu 06.10.2011. <http://www.metla.fi/uutiskirje/bio/2011-03/uutinen1.html>

Ranta, T. 2010. Metsäenergian tehokkaat kuljetusmuodot, 15.3.2010 Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Esitelmä. Viitattu 20.10.2011  
[http://www.kainuu.fi/UserFiles/kylateemaohjelma/File/8%20T\\_%20Ranta.pdf](http://www.kainuu.fi/UserFiles/kylateemaohjelma/File/8%20T_%20Ranta.pdf)

Systeemianalyysi. Virtuaaliammattikorkeakoulu. Ylemmän AMK-tutkinnon metodifoorumi. 13.11.2007. Viitattu 18.8.2011.  
<http://www.amk.fi/opintojaksot/0709019/1193463890749/1193464158778/1194360111832/1194360428404.html>

Taipale, K. Kuljetuspäällikkö. Vapo Oy. Haastattelut lokakuu 2011

Teoreettinen tutkimus. Jyväskylän yliopisto. Koppa. Viitattu 26.4.2013  
<https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/metelmapolkuja/metelmapolku/tutkimusstrategiat/teoreettinen-tutkimus>

## **7. LIITTEET**

Liite 1 ” Energiakäyttöön tarkoitetun karsitun rankapuun toimitusketjun mallintaminen metsäautotienvarresta käyttöpaikalle” –taulukkolaskentasovellus (ikuisesti salainen).